



**TUGAS AKHIR – SF 141501**

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI  
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 6×6  
PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK  
MULTIMODE STEP INDEX FD-620-10**

**ACHMAD MAULANA  
NRP 1112 100 103**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Gontjang Prajitno, M.si**

**JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**





**TUGAS AKHIR – SF 141501**

**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI  
DIRECTIONAL COUPLER KONFIGURASI 6×6  
PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK  
MULTIMODE STEP INDEX FD-620-10**

**ACHMAD MAULANA  
NRP 1112 100 103**

**Dosen Pembimbing  
Drs. Gontjang Prajitno, M.si**

**JURUSAN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT - SF 141501**

**FABRICATION AND CHARACTERITATION OF  
DIRECTIONAL COUPLER WITH  
CONFIGURATION 6×6 USE PLASTIC OPTICAL  
FIBER MULTIMODE STEP INDEX TYPE FD-620-  
10**

**ACHMAD MAULANA  
NRP 1112 100 103**

**Advisor  
Drs. Gontjang Prajitno, M.si**

**Department of Physics  
Faculty of Mathematics and Natural Sciences  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**

**FABRICATION AND CHARACTERITATION OF  
DIRECTIONAL COUPLER WITH CONFIGURATION  
6×6 USE PLASTIC OPTICAL FIBER MULTIMODE  
STEP INDEX TYPE FD-620-10**

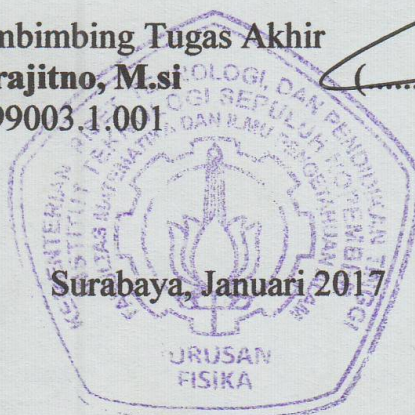
**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains  
pada  
Bidang Fisika Optoelektronika  
Program Studi S-1 Jurusan Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**ACHMAD MAULANA  
NRP 1112100103**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir  
Drs. Gontjang Prajitno, M.si  
NIP. 19660102.199003.1.001**



**FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 6×6 PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* TIPE FD-620-10**

**Nama** : ACHMAD MAULANA  
**NRP** : 1112100103  
**Jurusan** : Fisika, FMIPA, ITS  
**Pembimbing** : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

**Abstrak**

Telah difabrikasi *directional coupler* konfigurasi 6×6 *star coupler* berbahan serat optik plastik step indeks multimode tipe FD-620-10 dengan menggunakan pendekatan metode fused biconical tapered, yakni dengan menggabungkan enam buah core sepanjang daerah kupasan kemudian direkatkan menggunakan benang pada daerah *coupling* 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm. Untuk menggambarkan kemampuan *directional* yang telah difabrikasi, *directional coupler* dikarakterisasi dengan parameter coupler coupling ratio dan excess loss sehingga didapatkan pada daerah coupling 35 mm dengan input A1, 45 mm dengan input A1 dan B1, 50 mm dengan input F1, dan 55mm dengan input F1, dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pembagi berkas cahaya

**Kata kunci-** *coupling ratio, directional coupler, excess loss*

**FABRICATION AND CHARACTERITATION OF  
DIRECTIONAL COUPLER WITH CONFIGURATION 6×6  
USE PLASTIC OPTICAL FIBER MULTIMODE STEP  
INDEX TYPE FD-620-10**

**Name** : ACHMAD MAULANA  
**NRP** : 1112100103  
**Department** : Physics Department, Faculty of Mathematics  
and Sciences, Sepuluh Nopember Institute of  
Technology  
**Advisor** : Drs. Gontjang Prajitno, M.Si

**Abstract**

*Fabrication directional coupler with configuration 6×6 star coupler use multimode step index plastic optical fiber with metode fused biconical tapered was proposed, are fused six core in coupling area and then tied with woll in coupling area 35mm, 40mm, 45mm, 50mm, and 55mm. To demonstrate the performance of the device, directional coupler were characteritaton in terms of the coupling ratio, excess loss, and directivity. Then we get in coupling area 35mm with input port A1, 45mm with input A1 and B1, 50mm with input port F1, and 55mm with input port F1, can be used to be power devider or beam splitter.*

***Key words – coupling ratio, directional coupler, and excess loss***

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir sebagai syarat wajib untuk memperoleh gelar sarjana jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul :

### **FABRIKASI DAN KARAKTERISASI *DIRECTIONAL COUPLER* KONFIGURASI 6×6 PADA BAHAN SERAT OPTIK PLASTIK *STEP INDEX MULTIMODE* FD-620-10**

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan kesempatan untuk memahami dalam mempelajari setitik ilmu dalam bidang optoelektronika dan dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan tepat waktu.
2. Kedua orang tua yang penuh kasih sayang, mama dan bapak, yang selalu memberikan dukungan dan doa-doa dalam setiap langkah yang ditempuh
3. Kedua kakak, Fahlefi dan Elia, yang senantiasa memberikan nasehat dan pandangan dalam menempuh jalannya perkuliahan.
4. Bapak Drs. Gontjang Prajitno, M.Si, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang senantiasa memberikan bimbingan, wawasan, pemantauan, dan motivasi sehingga



penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan lancar.

5. Staf laboran Laboratorium Optoelektronika, Miftahul Ghofar yang selalu siap sedia membantu penulis dalam hal penyediaan material maupun alat saat pengerjaan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Ir. Rochman Rochim dan Staf Laboran Laboratorium Metal yang telah mengijinkan dan memandu dalam penggunaan stereo mikroskop
7. Yosifayza Septiani yang terus memberikan semangat, mengingatkan, dan bantuan kepada penulis.
8. Sahabat seperjuangan tugas akhir fiber optik, Elis Nuraini dan Ning Rosianah atas kerja samanya dalam menyelesaikan Tugas Akhir dengan penuh suka dan duka.
9. Arie Fauzi, Rachmad Danu, Shanti Candra, Rachmad Januar, Aloysius niko, Lianunisa Usvanda, dan sahabat-sahabat Fisika ITS 2012 yang tidak disebutkan namanya, telah bersedia menemani, meluangkan waktu, tenaga, dan menjadi sahabat diskusi hingga tidak pernah cukup rasanya untuk mengucapkan terima kasih.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk dapat mengembangkan sensor suhu serat optik yang lebih baik.

Surabaya, Januari 2017  
Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER PAGE .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b> iii
Abstrak .....	iv
Abstract .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	5
2.1 Serat Optik .....	5
2.1.1 Serat Optik Plastik FD-620-10 .....	7
2.2 Pantulan Dalam Total.....	8
2.3 Numerical Aperture.....	10
2.4 Teori Moda Tergandeng.....	11

2.5 Directional Coupler Konfigurasi 6×6 .....	16
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	21
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN .....	33
BAB V KESIMPULAN .....	62
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65
LAMPIRAN .....	67
BIODATA PENULIS .....	79

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port A1 .....	37
Tabel 4.2 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port B1 .....	37
Tabel 4.3 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port C1 .....	37
Tabel 4.4 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port D1 .....	38
Tabel 4.5 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port E1 .....	38
Tabel 4.6 Data intensitas pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port F1 .....	38
Tabel 4.7 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port A1 .....	39
Tabel 4.8 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port B1 .....	39
Tabel 4.9 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port C1 .....	39
Tabel 4.10 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port D1 .....	40
Tabel 4.11 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port E1 .....	40
Tabel 4.12 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port F1 .....	40
Tabel 4.13 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port A1 .....	41
Tabel 4.14 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port B1 .....	41
Tabel 4.15 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port C1 .....	41

Tabel 4.16 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port D1 .....	42
Tabel 4.17 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port E1 .....	42
Tabel 4.18 Data persentase pada port output <i>directional coupler</i> dengan input port F1 .....	42
Tabel 4.19 Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port A1 .....	43
Tabel 4.20 Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port B1 .....	43
Tabel 4.21 Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port C1 .....	43
Tabel 4.22 Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port D1 .....	44
Tabel 4.23 Data persentase balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port E1 .....	44
Tabel 4.24 Data intensitas balikan pada <i>directional coupler</i> dengan input port F1 .....	44
Tabel 4.25 Data besar <i>excess loss</i> (Le) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi .....	48
Tabel 4.26 Data besar <i>coupling ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah <i>coupling</i> 35 mm .....	50
Tabel 4.27 Data besar <i>coupling ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah <i>coupling</i> 40 mm .....	50
Tabel 4.28 Data besar <i>coupling ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah <i>coupling</i> 45 mm .....	51
Tabel 4.29 Data besar <i>coupling ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah <i>coupling</i> 50 mm .....	51

Tabel 4.30 Data besar <i>coupling ratio</i> (CR) dari <i>directional coupler</i> yang telah difabrikasi dengan daerah <i>coupling</i> 55 mm.....	51
--	----

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur dasar penyusun serat optik (Keiser, 1991).....	5
Gambar 2.2 Jenis-jenis serat optik berdasarkan indeks biasnya.....	6
Gambar 2.3 dimensi ukuran kabel duplex pada FD-620-10 .	7
Gambar 2.4 ukuran penampang core pada FD-620-10 .....	8
Gambar 2.5 pembiasan cahaya pada dua medium (Abramczyk, 2008).....	9
Gambar 2.6 Mekanisme perambatan sinar pada serat optik step index (Keiser, 1991).....	10
Gambar 2.7 susunan kanal dalam directional coupler.....	12
Gambar 2.8 Struktur directional coupler 6×6.....	17
Gambar 2.9 nilai coupling ratio pada directional coupler 6×6 menggunakan metode heat and press .....	19
Gambar 3.1 Alat kupas coating, (a) badan alat (b) bagian kupasan yang memiliki variasi panjang .....	22
Gambar 3.2 (a) serat optik yang telah dikupas coatingnya (b) serat optik yang telah dikupas diberikan sumber laser.....	23
Gambar 3.3 Pengukuran diameter cladding dan core serat optik.....	24
Gambar 3.4 kertas gosok yang digunakan dalam pengamplasan .....	24
Gambar 3.5 Proses penghilangan cladding pada serat optik .....	25
Gambar 3.6 Serat optik yang telah dihilangkan claddingnya .....	26
Gambar 3.7 Pengukuran diameter core serat optik .....	27
Gambar 3.8 Stereo mikroskop carl zeis.....	28
Gambar 3.9 (a) serat optik yang hanya memiliki core pada daerah kupasan, (b) konfigurasi serat optik saat digandeng. ....	29

Gambar 3.10 proses penggandengan daerah kupasan .....	30
Gambar 3.11 Rangkaian alat pengukuran intensitas .....	31
Gambar 3.12 Diagram alir penelitian .....	32
Gambar 4.1 Hasil fabrikasi directional coupler.....	33
Gambar 4.2 hasil pengamatan stereo mikroskop, (a) serat optik yang dihilangkan coating, (b) serat optik yang dihilangkan cladding, (c) serat optik setelah di coupling pada daerah kupasan 35 mm, (d) serat optik diberikan cahaya laser .....	35
Gambar 4.3 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> A1 .....	45
Gambar 4.4 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> B1 .....	46
Gambar 4.5 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> C1 .....	46
Gambar 4.6 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> D1 .....	47
Gambar 4.7 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> E1 .....	47
Gambar 4.8 Grafik pengaruh panjang daerah <i>coupling</i> terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan <i>port input</i> F1 .....	48
Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> A1 .....	52



Gambar 4.10 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> B1 .....	53
Gambar 4.11 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> C1 .....	53
Gambar 4.12 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> D1 .....	54
Gambar 4.13 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> E1 .....	54
Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai <i>coupling ratio</i> terhadap tiap <i>port output</i> pada variasi daerah <i>coupling</i> pada <i>port input</i> F1 .....	55
Gambar 4.15 Grafik hubungan nilai <i>coupling ratio</i> dengan daerah <i>coupling</i> pada tiap <i>port output</i> dengan <i>input port</i> A1 .....	56
Gambar 4.16 Grafik hubungan nilai <i>coupling ratio</i> dengan daerah <i>coupling</i> pada tiap <i>port output</i> dengan <i>input port</i> B1 .....	56
Gambar 4.17 Grafik hubungan nilai <i>coupling ratio</i> dengan daerah <i>coupling</i> pada tiap <i>port output</i> dengan <i>input port</i> C1 .....	57
Gambar 4.18 Grafik hubungan nilai <i>coupling ratio</i> dengan daerah <i>coupling</i> pada tiap <i>port output</i> dengan <i>input port</i> D1 .....	57
Gambar 4.19 Grafik hubungan nilai <i>coupling ratio</i> dengan daerah <i>coupling</i> pada tiap <i>port output</i> dengan <i>input port</i> E1 .....	58

Gambar 4.20 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port* F1 .....58

## DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	.....	67
LAMPIRAN B	.....	75
LAMPIRAN C	.....	79



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pada kebanyakan aplikasi dari serat optik berbahan plastik yang digunakan dalam jaringan optik. *Coupler* yang tepat sangat dibutuhkan untuk membagi atau menggabungkan sinyal optik. Baru-baru ini penggunaan jaringan serat optik plastik mengembangkan aplikasinya pada *automobile*, jaringan rumah, kontrol otomatis, dan sensor optik. Khususnya, jaringan optik yang digunakan pada *automobile* berkembang dari jaringan tipe *ring bus* menjadi jaringan tipe *star* berkesinambungan dengan permintaan kecepatan data komunikasi yang dibutuhkan.

Terdapat banyak cara untuk membuat *coupler* berbahan plastik, seperti *fused biconical tapered*, *side-polishing*, *twisting and fusing*, *molding*, *using hollow waveguide*, *polymer rectangular waveguide*, *heating and pressing*. Penelitian terbaru yang dilakukan oleh peneliti asal korea (Kim, 2013) menggunakan metode *heating and pressing* untuk membuat *directional coupler* konfigurasi 2×2, 4×4, dan 6×6, mampu menghasilkan rugi daya yang kecil. Metode-metode tersebut masih sangat sulit dilakukan dan sebagian besar dibutuhkan teknologi yang canggih, namun dari semua metode diatas metode *fused biconical tapered* adalah metode yang dapat dilakukan dalam keterbatasan alat dan banyak diteliti oleh peneliti di Indonesia.

Penelitian *fused biconical tapered* yang dilakukan oleh (Lucky, 2013) pada *directional coupler* konfigurasi 2×2 telah mampu memenuhi standar fabrikasi. Peneliti lain (Yaqin, 2015), telah membuat *directional coupler* konfigurasi 3×3, dan penelitian terbaru dilakukan oleh (Januar, 2016) telah mampu membuat *directional coupler* konfigurasi 4×4. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Januar menunjukkan bahwa susunan konfigurasi *star coupler* menghasilkan keluaran daya yang lebih merata pada seluruh *chanel output* terhadap *chanel input*

dibandingkan dengan susunan planar yang hanya mampu mendistribusikan secara merata pada *chanel output* hanya apabila sumber diberikan pada *chanel input* yang terletak pada bagian tengah.

Dalam penelitian ini akan digunakan serat optik plastik tipe FD-620-10 buatan Autonics yang telah dijual bebas di pasaran untuk fabrikasi *directional coupler* tipe *star couple* konfigurasi 6×6 dengan melakukan pendekatan *fused biconical tapered*. Pada penelitian ini juga akan dijelaskan cara menghilangkan *cladding* dan menggabungkan *core* serat optik pada daerah kupasan menggunakan benang jahit pada proses fabrikasi. Penjelasan kemampuan *directional coupler* yang telah difabrikasi dievaluasi dalam hal kerataan perbandingan daya keluaran (*coupling ratio*), rugi daya total (*excess loss*), rugi daya sisipan (*insertion loss*), dan pantulan balik (*directivity*).

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil fabrikasi *directional coupler* menggunakan metode *fused biconical tapered* yang telah dilakukan?
2. Bagaimana pengaruh variasi panjang daerah *coupling* 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm pada *directional coupler* yang telah dibuat?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah :

1. Fabrikasi *directional coupler* tipe *star couple* konfigurasi 6×6 dilakukan menggunakan serat optik plastik *multimode step index* tipe FD-620-10 buatan Autonics dengan pajang daerah *coupling* 35 mm, 40 mm, 45 mm,

- 50 mm, dan 55 mm dengan metode *fused biconical tapered* dan perekat benang jahit.
2. Karakterisasi *directional coupler* yang telah difabrikasi menggunakan BF5R-D1-N buatan Autonics sebagai sumber cahaya warna merah dengan panjang gelombang 660 nm termulasi dan sebagai foto detektor intensitas cahaya.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan perumusan permasalahan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1 Mengetahui hasil fabrikasi *directional coupler* menggunakan metode *fused biconical tapered* yang telah dilakukan.
- 2 Mengetahui pengaruh variasi panjang daerah *coupling* 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm pada *directional coupler* yang telah dibuat.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi bagaimana pengaruh penggunaan benang jahit dalam proses *coupling* pada metode *fused biconical tapered*, pengaruh variasi panjang kupasan, dapat dikembangkan dengan konfigurasi yang lebih besar, dan dapat dimanfaatkan sebagai pembagi berkas atau pembagi daya cahaya.

#### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan, berisi latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika laporan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka, berisi teori yang menunjang penelitian dan analisis.
3. Bab III Metodologi Penelitian, berisi peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian serta uraian lengkap tahapan penelitian. fabrikasi dan karakterisasi yang dilakukan serta analisis dan pembahasan.
4. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi kesimpulan dari penelitian dan saran untuk penelitian lebih lanjut.

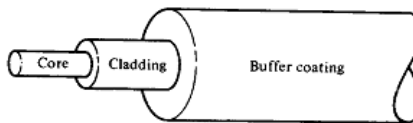


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Serat Optik

Serat optik adalah pandu gelombang berbahan dielektrik, biasanya berbahan *sillica* atau plastik, yang berfungsi mentransmisikan gelombang cahaya. Bentuk dari serat optik dapat berupa silinder atau planar, tetapi pada umumnya serat optik yang banyak digunakan dan tersedia bebas dipasaran adalah serat optik berbentuk silinder. Struktur dasar serat optik terdiri dari inti (*core*) tempat merambatnya cahaya dan bagian kulit (*cladding*) yang merupakan bagian syarat sekaligus pelindung bagi inti. Syarat yang harus dipenuhi oleh bagian *cladding* ini adalah indeks bias *core* ( $n_{cr}$ ) harus selalu lebih besar dari indeks bias *cladding* ( $n_{cl}$ ). Hal ini bertujuan agar terjadi pantulan dalam total pada cahaya didalam *core* sehingga tidak lolos menembus *cladding*. Dalam keadaan ideal tidak terdapat energi yang hilang di dalam *core*. Ada pun bagian pelengkap yang terdapat pada serat optik adalah jaket (*coating*), yakni bagian terluar yang berfungsi melindungi bagian *core* dan *cladding* dari kerusakan akibat pengaruh eksternal dari serat optik (Abramczyk, 2008)

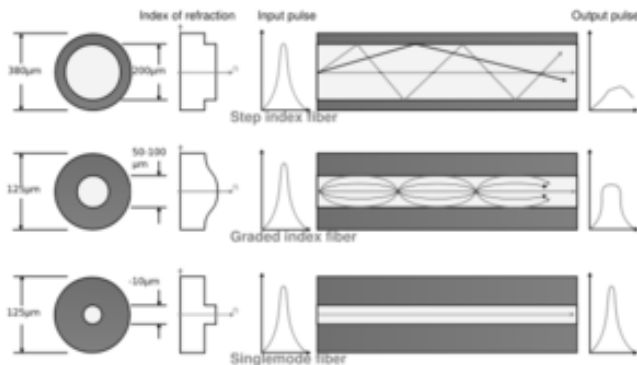


Gambar 2.1 Struktur dasar penyusun serat optik (Keiser, 1991)

Secara garis besar, berdasarkan struktur indeks bias *core*, serat optik terdiri atas dua jenis yaitu *step index* dan *graded index*. Pada serat optik *step index*, memiliki satu indeks bias yang

homogen baik ditengah core sampai batas *core* dan *cladding*. Sedangkan *graded index* memiliki indeks bias berubah pada *core* nya, indeks bias semakin besar saat mendekat ke tengah sumbu *core* dan menurun secara gradual pada batas *core* dengan *cladding* (Power,1997).

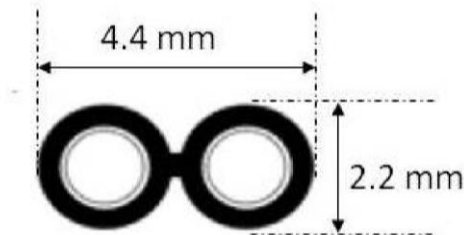
Dalam transmisi serat optik dikenal istilah moda yakni banyaknya berkas cahaya yang dipancarkan oleh sumber optik berdasarkan panjang gelombang yang berbeda pada masing-masing berkas. Berdasarkan jumlah moda yang terpandu, serat optik dibedakan menjadi dua yaitu serat optik moda tunggal (*singlemode*) dan moda jamak (*multimode*). Disebut *singlemode* jika hanya satu moda gelombang yang dapat dipandu dan *multimode* jika moda gelombang yang terpandu lebih dari satu. Perbandingan struktur serat optik *multimode step index* dan *graded index* serta profil indeks biasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.2 Jenis-jenis serat optik berdasarkan indeks biasnya

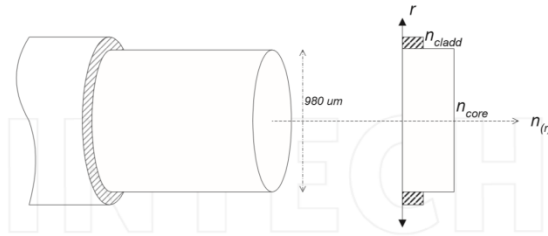
### 2.1.1 Serat Optik Plastik FD-620-10

Serat optik plastik FD-620-10 merupakan serat optik kabel *duplex* dengan *core* tunggal setiap ulirnya buatan Autonics yang didesain dengan *core* memiliki indeks bias yang lebih tinggi dibandingkan *cladding*-nya.



Gambar 2.3 dimensi ukuran kabel duplex pada FD-620-10

Berkas cahaya pada satu sisi akan terpandu hingga pada sisi lainnya dengan cara pantulan dalam total pada perbatasan *core* dan *cladding*. Pada serat optik FD-620-10 memiliki besar sudut keluaran  $60^\circ$  yang memiliki bentuk seperti kerucut. Pelindung bagian *core* dan *cladding* dengan *coating* terluar terbuat dari karet silion atau *vinly chloride*. Material *core* dan *cladding* serat optik FD-620-10 terbuat dari resin sintetik poly akrilik. Dengan spesifikasi material penyusun *core* plexyglas yang memiliki indeks bias 1,492 dan suhu transisi sekitar  $105^\circ\text{C}$  dan material *cladding* 1,42 dengan numerical aperture 0,5 yang dimungkinkan karena ketidakcocokan pemasangan pada *transmitter* atau *receiving* pada serat optik. Standar fabrikasi serat optik plastik memiliki dimensi *core*  $980\text{ }\mu\text{m}$  dan dimensi lengkap beserta *coating* 2,2 mm (Abrate, 2016)

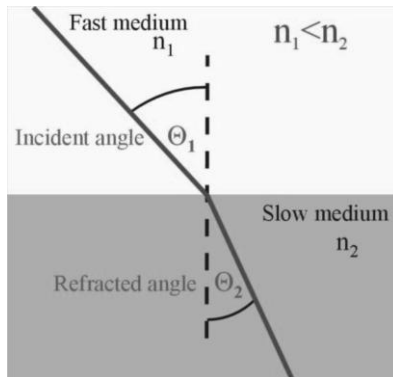


Gambar 2.4 ukuran penampang core pada FD-620-10

## 2.2 Pantulan Dalam Total

Cahaya dalam dalam ruang hampa memiliki kecepatan  $3 \times 10^8$  m/s (Power, 1997). Dalam perambatan cahaya melewati suatu medium, cahaya mengalami perubahan kecepatan yang dipengaruhi oleh tingkat kerapatan medium. Kecepatan cahaya dalam medium rapat lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan cahaya dalam medium renggang (Widodo, 1995). Berdasarkan perbedaan kecepatan cahaya pada medium rambatnya tersebut didefinisikan indeks bias ( $n$ ) adalah perbandingan kecepatan cahaya dalam ruang hampa ( $c$ ) dan kecepatan cahaya dalam suatu medium ( $v$ ) dituliskan dalam persamaan berikut:

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$



Gambar 2.5 pembiasan cahaya pada dua medium (Abramczyk, 2008)

Lintasan cahaya yang melalui dua medium berbeda dengan indeks bias medium satu ( $n_1$ ) dan indeks bias medium dua ( $n_2$ ) akan mengalami pembiasan sebesar sudut tertentu yang dijelaskan berdasarkan persamaan Snellius (Abramczyk, 2008):

$$n_1 \sin \phi_1 = n_2 \sin \phi_2 \quad (2.2)$$

Apabila perambatan cahaya bergerak dari medium rapat ( $n_2$ ) dengan sudut datang cahaya terhadap normal bidang ( $\phi_2$ ) menuju medium kurang rapat ( $n_1$ ) akan dibiaskan sebesar ( $\phi_1$ ). Karena  $n_2 > n_1$ , sudut bias ( $\phi_1$ ) akan lebih besar dari sudut datang ( $\phi_2$ ). Hingga suatu ketika memenuhi suatu kondisi sudut datang kritis ( $\phi_c$ ) adalah sudut yang menghasilkan sudut bias ( $\phi_1$ ) bernilai  $90^\circ$ . Dapat dituliskan dalam persamaan:

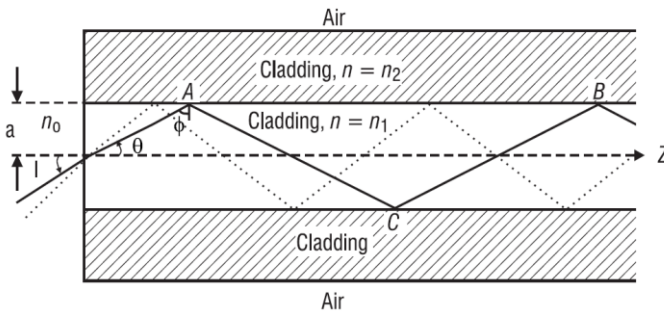
$$\phi_c = \sin^{-1} \frac{n_1}{n_2} \quad (2.3)$$

Apabila sudut datang ( $\phi_2$ ) lebih besar dari sudut datang kritis ( $\phi_c$ ) cahaya tidak diteruskan pada medium satu, tetapi dipantulkan kembali dengan sudut pantul yang nilainya sebanding dengan sudut datang cahaya ( $\phi_2$ ). Fenomena ini dikenal dengan pantulan dalam total pada

cahaya yang melalui dua medium berbeda (Abramczyk, 2008)

### 2.3 Numerical Aperture

Pada bidang antar muka dua medium berbeda yg dilewati cahaya masuk ke dalam *core* serat optik dari sumber yang membentuk sudut “ $i$ ” dengan normal bidanganya seperti pada gambar (2.3)



Gambar 2.6 Mekanisme perambatan sinar pada serat optik step index (Keiser, 1991)

Dalam *core* cahaya membentuk sudut bias sebesar  $\theta$ . Diasumsikan indeks bias medium diluar serat optik adalah  $n_0$ . Dengan menerapkan persamaan Snellius pada kedua bidang ini didapatkan:

$$n_0 \sin \phi_0 = n_1 \sin \phi_1 \quad (2.4)$$

cahaya yang telah dibiaskan akan membentuk sudut terhadap garis normal pada bidang antar muka kedua medium core dan *cladding* sebesar  $\phi$ , jika mengalami pantulan dalam total dengan membentuk sudut  $\phi$ , maka:

$$\sin \phi (= \cos \theta) > \frac{n_2}{n_1} \quad (2.5)$$

Diketahui bahwa  $\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$  sehingga didapatkan:

$$\sin \theta < \left[ 1 - \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Jika  $I_m$  adalah sudut maksimum masukan agar terjadi pantulan dalam total pada serat optik (Ajoy, 2000). Dengan mengaplikasikan persamaan (2.4) dan (2.6). dengan  $I < I_m$ , dimana:

$$\sin I_m = (n_1^2 - n_2^2)^{\frac{1}{2}} = n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (2.7)$$

Dengan mengasumsikan  $n_0=1$ , yakni medium udara dan  $\Delta = (n_1-n_2)/2$  (Keiser, 1984) persamaan (2.7) menunjukkan hubungan antara sudut masukan sinar dengan indeks bias ketiga medium yang berinteraksi yang dikenal dengan *Numerical Aperture* yang dinotasikan dengan NA. Dari persamaan yang telah didapatkan ditunjukkan bahwa nilai NA tidak bergantung pada ukuran (dimensi) dari serat optik, tapi hanya bergantung pada indeks bias ketiga medium (Tricker, 2002).

## 2.4 Teori Moda Tergandeng

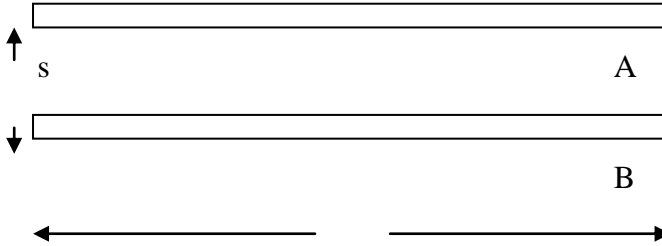
Dalam mode terpandu, masing-masing mode normal saling ortogonal dan saling bebas tanpa kopling dan mengangkut daya cahaya dengan tidak dipengaruhi oleh perambatan mode gelombang yang lain, tetapi dalam sistem pandu gelombang yang terkopel, mode-mode normal satu sama lain tidak lagi merambat saling bebas, melainkan saling terkopel bersama (Rubiyanto dan Rohedi, 2003).

Untuk menjelaskan teori moda tergendeng ditinjau dua buah kanal A dan B dengan lebar gap (S) dan jarak interaksi (Z) seperti gambar 2.8. dua medan listrik gelombang optik moda TE yang merambat secara mandiri dalam arah z pada kanal A dan B berkonstanta propagasi

efektif  $\beta_A$  dan  $\beta_B$  dengan lebar gap yang cukup besar dinyatakan sebagai,

$$e_A(x, y, z) = A(0)e_A(x, y)\exp(j\beta_A z) \quad (2.8)$$

$$e_B(x, y, z) = B(0)e_B(x, y)\exp(j\beta_B z) \quad (2.9)$$



Gambar 2.7 susunan kanal dalam directional coupler

Dengan  $e_A(x, y)$  dan  $e_B(x, y)$  menyatakan komponen medan listrik transversal dari gelombang optik,  $A(0)$  dan  $B(0)$  adalah amplitudo yang selalu konstan sepanjang perambatannya. Untuk lebar gap kedua kanal sangat kecil maka gelombang *evanescent* moda dasar di sepanjang daerah gap tersebut saling memberikan gangguan (*perturbation*), kopling antar keduanya menyebabkan amplitudo gelombang optik yang merambat pada masing-masing kanal berubah sepanjang jarak rambatnya.

Amplitudo yang berubah sepanjang penjaralannya tersebut dinyatakan dengan  $\frac{\partial A(z)}{\partial z}$  dan  $\frac{\partial B(z)}{\partial z}$  sebagai berikut,

$$\frac{\partial A(z)}{\partial z} = -j\kappa_{AB}B(z)\exp(-2j\delta z) - j\kappa_{AA}A(z) \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial B(z)}{\partial z} = -j\kappa_{BA}A(z)\exp(+2j\delta z) - j\kappa_{BB}B(z) \quad (2.11)$$

dengan,  $\delta$  adalah besaran yang menyatakan ketidaksinkron fasa antar kanal

$$\delta = \frac{\beta_A - \beta_B}{2} \quad (2.12)$$



dan  $\kappa$  adalah koefisien kopling antar kanal,

$$\kappa_{Ai} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\omega}{4} (\varepsilon_i(x, y) - \varepsilon(x, y)) e_i(x, y) e_A^*(x, y) dx dy$$

$$i = A, B \quad (2.13)$$

dengan,  $\omega$  adalah frekuensi optik,  $\varepsilon(x, y)$  adalah tetapan daerah gap,  $\varepsilon_A(x, y)$  dan  $\varepsilon_B(x, y)$  masing-masing adalah tetapan dielektrik kanal A dan B. Untuk kedua kanal yang mempunyai dimensi dan distribusi indeks bias sama (besaran fasa yang sinkron) maka  $\kappa_{AB} = \kappa_{BA} = \kappa$ . Harga  $\kappa_{AA}$  dan  $\kappa_{BB}$  diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan harga kopling antar kanal, sehingga Pers. (2.10) dan pers. (2.11) menjadi

$$\frac{\partial A(z)}{\partial z} = -j\kappa B(z) \exp(-2j\delta z) \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial B(z)}{\partial z} = -j\kappa A(z) \exp(+2j\delta z) \quad (2.15)$$

dengan mendeferensialkan pers. (2.14 dan 2.15) terhadap  $z$  dan mengeliminir  $B(z)$  atau  $A(z)$  maka didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\frac{\partial^2 A(z)}{\partial z^2} + 2j\delta \frac{\partial A(z)}{\partial z} + \kappa^2 A(z) = 0 \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial^2 B(z)}{\partial z^2} - 2j\delta \frac{\partial B(z)}{\partial z} + \kappa^2 B(z) = 0 \quad (2.17)$$

Penyelesaian pers. (2.14 dan 2.15) adalah

$$A(z) = (D \exp(j\zeta) + E \exp(-j\zeta)) \exp(-j\delta z) \quad (2.18)$$

$$B(z) = (F \exp(j\zeta) + G \exp(-j\zeta)) \exp(+j\delta z) \quad (2.19)$$

Dengan

$$\zeta = \kappa \sqrt{(1 + X^2)} \text{ dan } X = \frac{\delta}{\kappa} \quad (2.20)$$

Konstanta D, E, F, G besarnya tergantung pada panjang gelombang optik yang melewati kanal-kanal tersebut. Secara fisis konstanta D, E, F, G menentukan seberapa besar daya gelombang optik yang dapat dirambatkan pada tiap-tiap kanal.

Sebagai akibat perubahan amplitudo maka medan listrik gelombang optik moda dasar yang merambat dalam kanal A dan B dapat dinyatakan sebagai,

$$E_A(x, y, z) = A(z)e_A(x, y)\exp(j\beta_A z) \quad (2.21)$$

$$E_B(x, y, z) = B(z)e_B(x, y)\exp(j\beta_B z) \quad (2.22)$$

Selanjutnya bila  $A(z)$  dan  $B(z)$  dalam pers. (2.14 dan 2.15) di substitusikan ke dalam pers. (2.21 dan 2.22) maka didapatkan,

$$E_A(x, y, z) = (D \exp(j\beta_0 z) + E \exp(j\beta_1 z))e_A(x, y) \quad (2.23)$$

$$E_B(x, y, z) = (F \exp(j\beta_0 z) + G \exp(j\beta_1 z))e_B(x, y) \quad (2.24)$$

Medan listrik gelombang optik yang merambat dalam Directional-Coupler dapat didekati oleh super posisi dari  $E_A(x, y, z)$  dan  $E_B(x, y, z)$  dari pers. (2.23 dan 2.24) persamaan medan listriknya dapat dinyatakan sebagai,

$$E(x, y, z) = e_0(x, y) \exp(j\beta_0 z) + e_1(x, y) \exp(j\beta_1 z) \quad (2.25)$$

Dengan

$$e_0(x, y) = D e_A(x, y) + F e_B(x, y) \quad (2.26)$$

$$e_1(x, y) = E e_A(x, y) + G e_B(x, y) \quad (2.27)$$

$$\beta_0 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} + \kappa \sqrt{1 + X^2} \quad (2.28)$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} - \kappa \sqrt{1 + X^2} \quad (2.29)$$

Persamaan ini mempunyai arti bahwa bila lebar gap kedua kanal sangat kecil maka efek *coupling* menyebabkan medan listrik gelombang optik dalam *directional coupler* terdistribusi atas medan listrik pada moda simetri dan anti simetri masing-masing merambat dengan tetapan propagasi efektif  $\beta_0$  dan  $\beta_1$  dan komponen medan listrik transversalnya dinyatakan berturut-turut oleh  $e_0(x, y)$  dan  $e_1(x, y)$  (dosen-dosen fisika, 2014)

Perambatan gelombang moda simetri dan moda anti simetri adalah saling orthogonal, maka dengan menggunakan hubungan normalisasi orthogonalitas didapat

$D=G$ ,  $E=F$  dan  $D^2 + E^2 = 1$ , kemudian harga  $D$  dan  $E$  dapat dinyatakan sebagai,

$$D = \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{x}{\sqrt{1+X^2}} \right)} \quad (2.30)$$

$$E = \sqrt{\frac{1}{2} \left( 1 + \frac{x}{\sqrt{1+X^2}} \right)} \quad (2.31)$$

Selanjutnya dari pers. (2.23 dan 2.24) dapat dinyatakan bahwa kanal A dan B, medan listrik gelombang optik yang merambat berbentuk,

$$E_A(x, y, z) = \Psi_A(z) e_A(x, y) \quad (2.32)$$

$$E_B(x, y, z) = \Psi_B(z) e_B(x, y) \quad (2.33)$$

Dengan amplitudo efektif gelombang A dan gelombang B dinyatakan sebagai

$$\Psi_A(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} (D \exp(j\beta_0 z) + E \exp(j\beta_1 z)) \quad (2.34)$$

$$\Psi_B(z) = \frac{1}{\sqrt{2}} (E \exp(j\beta_0 z) - D \exp(j\beta_1 z)) \quad (2.35)$$

Pada Directional-Coupler simetri, harga ketaksinkron kedua kanal ( $\delta$ ) adalah nol sehingga  $X=0$ , dari pers. (2.28 dan 2.29) didapatkan untuk  $X=0$ , harga  $\beta_0$  dan  $\beta_1$  adalah

$$\beta_0 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} + \kappa \quad (2.36)$$

$$\beta_1 = \frac{\beta_A + \beta_B}{2} - \kappa \quad (2.37)$$

Sehingga

$$\Delta\beta - \beta_0 - \beta_1 = 2\kappa \quad (2.38)$$

Dan dari pers. (2.30 dan 2.31) untuk  $X=0$  dipenuhi

$$D = E = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (2.39)$$

Ditinjau directional-coupler yang terdiri dua buah pemandu gelombang kanal sejajar dengan lebar  $W$  dan lebar gap  $S$ , seperti dalam gambar 2.8 Daya yang merambat sepanjang masing-masing kanal (kanal A dan kanal B) dapat dinyatakan sebagai

$$P_A(z) = \Psi_A(z) \Psi_A^*(z) \quad (2.40)$$

$$P_B(z) = \Psi_B(z) \Psi_B^*(z) \quad (2.41)$$

Dari Pers.(2.41a) bila disubstitusikan ke dalam Pers.(2.46a) maka didapatkan,

$$P_A(z) = \frac{1}{2} (De^{j\beta_1 z} De^{-j\beta_1 z}) + \frac{1}{2} (Ee^{j\beta_1 z} Ee^{-j\beta_1 z}) + Ee^{j\beta_1 z} De^{-j\beta_0 z} + De^{j\beta_0 z} Ee^{-j\beta_1 z} \quad (2.42)$$

Bila diuraikan dalam suku sinus dan kosinus didapatkan,

$$P_A(z) = \frac{1}{2} (D^2 + E^2 + 2ED\cos(\beta_0 - \beta_1)z) \quad (2.43)$$

$$P_A = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{\sqrt{2}}^2 + \frac{1}{\sqrt{2}}^2 + 2 \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \cos(\beta_0 - \beta_1) z \right) \quad (2.44)$$

$$P_A = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \cos(\beta_0 - \beta_1) z \right) \quad (2.45)$$

$$P_A = \frac{1}{2} (1 + \cos(\beta_0 - \beta_1) z) \quad (2.46)$$

$$P_A = \cos^2 \left( \left( \frac{\beta_0 - \beta_1}{2} \right) z \right) \quad (2.47)$$

maka Pers.(2.48) dapat ditulis sebagai

$$P_A = \cos^2 \left( \frac{\Delta\beta z}{2} \right) \quad (2.48)$$

Dengan  $\Delta\beta = \beta_0 - \beta_1$  seperti dalam Pers.(2.38) Persamaan (2.48) ini menunjukkan daya optik yang merambat pada kanal A. Dengan cara yang sama untuk daya yang merambat dalam kanal B didapatkan dengan cara Pers.(2.35) disubstitusikan ke dalam Pers.(2.41) hasilnya adalah (Dosen Fisika ITS, 2014)

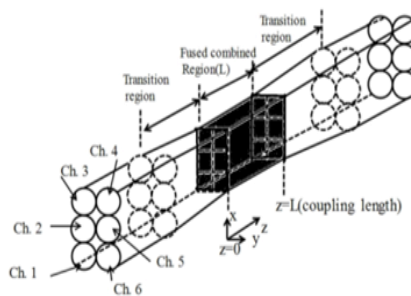
$$P_B(z) = \sin^2 \left( \frac{\Delta\beta z}{2} \right) \quad (2.49)$$

## 2.5 Directional Coupler Konfigurasi 6×6

Terdapat banyak metode dalam fabrikasi serat optik plastik menjadi *directional coupler* konfigurasi 6×6 selain menggunakan *fused biconical tapered*. Salah satunya

penelitian yang sudah dilakukan oleh peneliti asal korea membuat *directional coupler*  $6 \times 6$  menggunakan metode *heat and press* (Kwang, 2013)

Struktur *directional coupler* yang telah dibuat oleh peneliti asal korea ini dapat dilihat pada gambar 2.9 sebagai berikut yang merupakan susunan *star coupler*:



Gambar 2.8 Struktur *directional coupler*  $6 \times 6$

Enam buah serat optik plastik dihilangkan bagian *coating* dan *cladding* di sepanjang daerah *coupling* yang akan dilakukan. Kemudian enam buah serat optik ini di *press* dengan cara diletakan pada alat press sambil dilakukan pemanasan. Hasil dari *directional coupler* ini pada daerah *coupling* tiap serat optik melebur menjadi satu mengikuti bentuk cetakan persegi panjang yang kemudian diberi lapisan *epoxy* sebagai pengganti *cladding*. Karakterisasi dilakukan dengan cara menghitung parameter-parameter pokok dalam piranti *directional coupler*  $6 \times 6$  sebagai berikut:

- *Coupling ratio* (CR), yaitu proporsi daya masukan pada masing-masing keluaran. Jika daya masukan diberikan pada port C1, nilai CR diperoleh dari saluran keluaran, yaitu port

A2, B2, C2, D2, E2, dan F2 dengan menggunakan persamaan:

$$CR = \frac{P_{C2}}{P_{A2}+P_{B2}+P_{C2}+P_{D2}+P_{E2}+P_{F2}} \quad (2.50)$$

- *Excess loss* (Le) adalah rugi daya total. Jika 10mW masuk ke dalam perangkat dan hanya 7mW daya yang keluar, maka terdapat selisih 3mW yang dinyatakan sebagai rugi daya. Energi cahaya terhambur dan diserap di dalam *coupler* dan tidak didapatkan di saluran keluaran. sebagai contoh untuk menghitung %L<sub>e</sub> pada *input* C1 adalah:

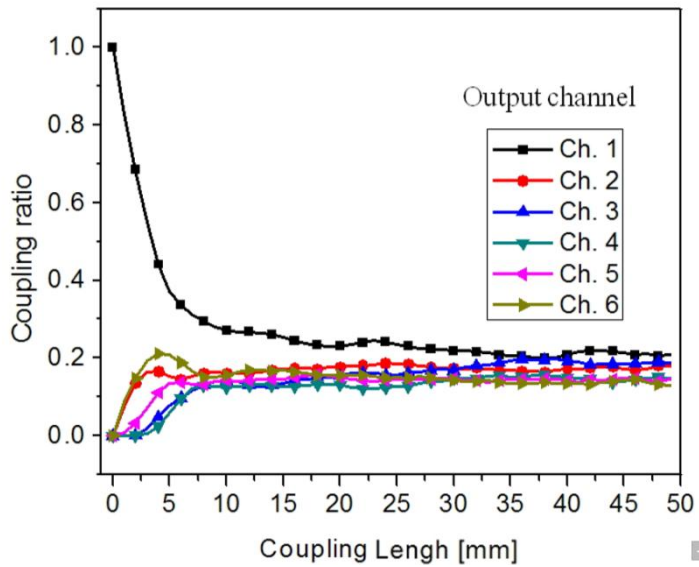
$$\% L_e(C1) = \left( \frac{P_{input} - (P_{A2} + P_{B2} + P_{C2} + P_{D2} + P_{E2} + P_{F2} + P_{B1} + P_{C1} + P_{D1} + P_{E1} + P_{F1})}{P_{input}} \right) \times 100\% \quad (2.51)$$

- *Directivity* (D), merupakan hamburan balik yang terdeteksi pada port input. Ketika daya diberikan pada port C1, daya keluaran akan terdeteksi pada *port* A2, B2, C2, D2, E2, dan F2, bukan pada *port* A1, B1, D1, E1, dan F1 yang merupakan port input (Crisp, 2001)

Sebagai contoh untuk menghitung besar nilai D pada input C1 dan terhambur balik pada *port* B1 adalah:

$$D = 10 \log \left( \frac{B_1}{C_1} \right) \text{ dB} \quad (2.52)$$

Dari hasil penelitian (Kwang, 2013) didapatkan besar nilai *coupling ratio* yang akan disajikan dalam gambar 2.10 dan memiliki besar rugi daya yang sudah memenuhi standar fabrikasi.



Gambar 2.9 nilai coupling ratio pada directional coupler 6×6 menggunakan metode heat and press

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Alat dan Bahan**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah antara lain :

1. Cutter
2. Laser
3. Pemotong serat optik
4. Mikroskop olympus GX-71
5. BF5R-D1-N buatan Autonics
6. *Power Supply*
7. DIN Rail
8. Mistar
9. Selotip
10. Jangka sorong

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian tugas ini antara lain :

1. Serat optik tipe FD-620-10 buatan Autonics
2. Akrilik
3. Alkohol 70%
4. Label
5. Kertas gosok (mesh: 500, 1000, 1500, 2000, dan 5000)

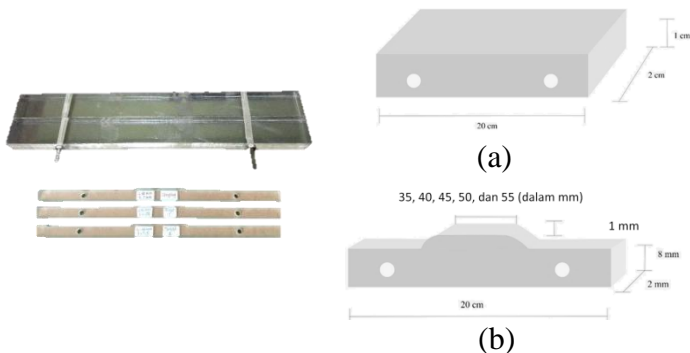
#### **3.2. Prosedur Kerja**

Untuk melakukan penelitian ini terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan, diantaranya adalah:

##### **3.2.1. Menghilangkan *Coating***

Alat kupas yang terbuat dari akrilik digunakan untuk memudahkan pengupasan *coating* pada serat optik. Alat

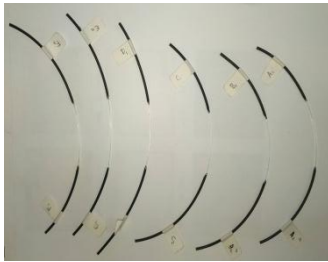
kupas ini terdiri dari dua bagian utama. Terdapat dua buah bagian pertama yang memiliki bentuk, di tunjukan seperti pada gambar 3.1 (a), seperti balok dan terdapat dua lubang di sisinya. Dan 5 macam bagian kedua seperti yang ditunjukan pada gambar 3.1 (b), yakni dengan ketentuan panjang bagian yang menjorok keatas 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm. Untuk membuat *directional coupler* konfigurasi 6×6, 6 buah serat optik yang sudah dipotong sepanjang 20 cm disiapkan. Bagian kedua diletakan diantara dua buah bagian pertama dan kemudian set up alat diperkuat untuk menghindari bergerak saat digunakan dengan cara baut dimasukan ke dalam lubang kemudian dikunci menggunakan mur. Sehingga akan tampak seperti pada gambar 3.1. serat optik diletakan pada ulir yang terletak pada alat dan bagian daerah kupasan akan menjorok keatas mengikuti bentuk alat yang sudah dirangkai sebelumnya. Agar saat dikupas serat optik tidak bergerak, serat optik direkatkan menggunakan solatip



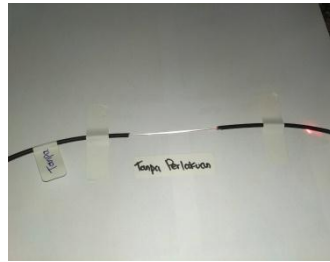
Gambar 3.1 Alat kupas coating, (a) badan alat (b) bagian kupasan yang memiliki variasi panjang

ke badan alat. Label batas direkatkan di samping serat optik sebagai penanda untuk menghindari kesalahan dalam pengupasan. Dengan menggunakan *cutter*, *coating* serat optik dikupas mengikuti ulir sepanjang daerah kupasan.

Dari hasil kupasan akan tampak bagian bening dari serat optik seperti pada gambar 3.2 (a). Serat optik yang dikupas ini jika diberikan sumber cahaya laser akan tetap tampak bening seperti pada gambar 3.2 (b).



(a)



(b)

Gambar 3.2 (a) serat optik yang telah dikupas coatingnya (b) serat optik yang telah dikupas diberikan sumber laser.

Hal ini menandakan bahwa pada serat optik masih terjadi pantulan dalam total karena masih terdapat *cladding* dan *core* pada sepanjang daerah kupasan.

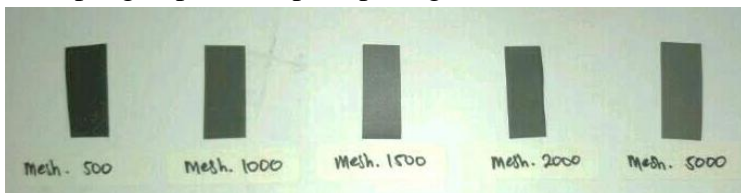


Gambar 3.3 Pengukuran diameter cladding dan core serat optik

Dengan menggunakan jangka sorong diketahui bahwa pada serat optik yang digunakan pada penelitian ini memiliki diameter gabungan *cladding* dan *core* sebesar 1 mm seperti pada gambar 3.3.

### 3.2.2. Menghilangkan *Cladding*

Untuk menghilangkan *cladding* pada serat optik dilakukan pengamplasan. Kertas gosok dengan mesh 500, 1000, 1500, 2000, dan 5000 disiapkan. Kertas gosok dipotong membentuk persegi panjang untuk memudahkan proses pengamplasan seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 kertas gosok yang digunakan dalam pengamplasan

Kemudian pada daerah kupasan serat optik kertas gosok ditebuk menjadi dua bagian sehingga daerah kupasan dikelilingi oleh kertas gosok. Serat optik kemudian diampelas dengan kertas gosok yang memiliki mesh paling rendah 500 kemudian diganti bertahap ke mesh yang lebih besar 1000, 1500, sampai 2000 dengan cara serat optik diputar dan kertas gosok digerakan searah sepanjang daerah kupasan seperti pada gambar 3.5.



Gambar 3.5 Proses penghilangan cladding pada serat optik

Dengan laser dilakukan pengecekan dengan cara memberikan cahaya pada serat optik. Apabila pada saat diberikan cahaya laser telah terdapat bagian cahaya yang bocor, serat optik diampelas hanya menggunakan kertas gosok dengan mesh 5000 hingga cahaya dapat keluar merata pada seluruh daerah kupasan pada serat optik seperti pada

gambar 3.6. Serat optik yang telah bocor ini dianggap serat optik yang *cladding*-nya telah dihilangkan.



Gambar 3.6 Serat optik yang telah dihilangkan *cladding*-nya

Setelah pengamplasan selesai dan serat optik yang tinggal tersisa bagian *core*-nya saja didapatkan, dengan menggunakan jangka sorong besar diameter *core* pada serat optik di ukur seperti pada gambar 3.7 didapatkan besar nilai diameter *core* sebesar 0.88 mm.



Gambar 3.7 Pengukuran diameter core serat optik

### 3.2.3. Pengamatan Struktur Permukaan

Serat optik yang telah dihilangkan *coating* dan *cladding* perlu diamati permukaannya sebelum dan sesudah dilakukan penggangdangan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui bentuk tampak permukaan pada daerah kupasan antara sebelum dan sesudah dilakukan penggangdangan. Pengujian dilakukan dengan keterangan sebagai berikut:

Hari dan tanggal : Rabu, 28 Desember 2016

Tempat : Lab. Metal, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi ITS

Alat : Mikroskop *Stereo #3* –Carl Zeis Stemi DV4



Gambar 3.8 Stereo mikroskop carl zeis

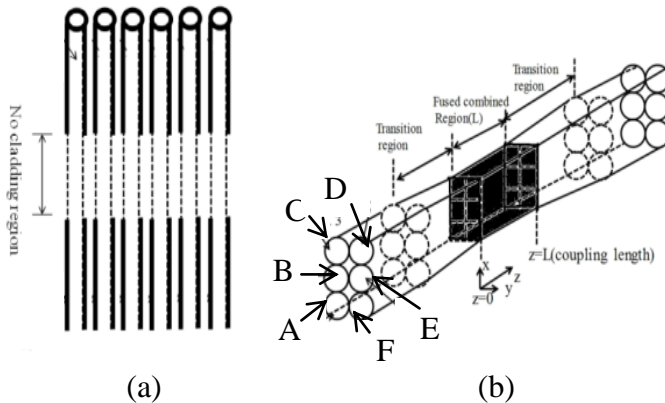
Untuk menggunakan stereo mikroskop Carl Zeis, bagian daerah kupasan pada serat optik yang ingin diamati deletakan pada lubang pengamatan. Hasil pengamatan yang didapatkan menggunakan mikroskop yang terintegrasi dengan personal komputer ini menampilkan perbesaran gambar struktur makro sepanjang daerah kupasan pada serat optik.

#### **3.2.4. Penggandengan Daerah *Coupling***

Untuk membuat *directional coupler* konfigurasi 6×6 *star couple*, 6 buah Serat optik yang hanya terdapat bagian *core* saja pada daerah kupasan disiapkan. Serat optik diberikan label A, B, C, D, E, dan F, untuk memudahkan penandaan. Serat optik A, B, dan C direkatkan secara planar pada tepi dekat daerah kupasan untuk memudahkan proses penggandengan. Pada serat optik D, E, dan F dilakukan hal

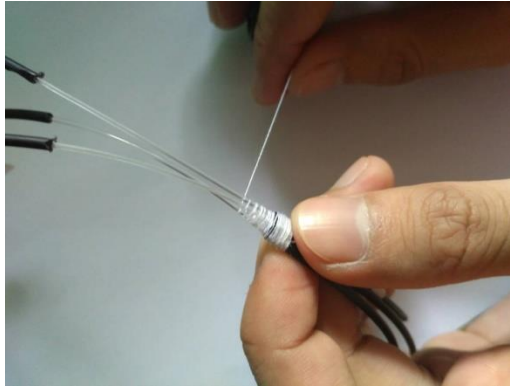


yang sama seperti pada serat optik A, B, dan C sehingga didapatkan dua buah susunan planar. Kedua susunan planar tersebut kemudian digandeng dengan ketentuan seperti pada gambar 3.9 (b).



Gambar 3.9 (a) serat optik yang hanya memiliki core pada daerah kupasan, (b) konfigurasi serat optik saat digandeng.

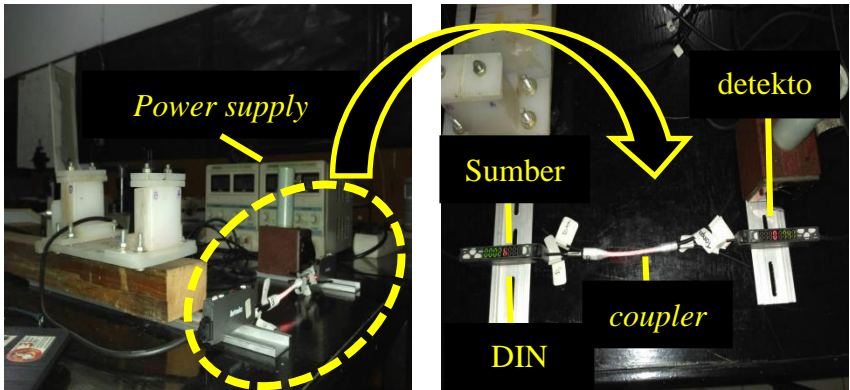
Setelah kedua susunan planar tersebut direkatkan, daerah *coupling* sepanjang daerah kupasan digandeng menggunakan benang jahit dengan cara melilitkannya seperti pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 proses penggandengan daerah kupasan

### 3.2.5. Karakterisasi

*Directional coupler* yang telah difabrikasi perlu dikarakterisasi dengan cara menghitung parameter-parameter *coupler*, yakni *coupling ratio* (CR), *Directivity* (D), dan rugi daya total (Le) dihitung menggunakan pers. 2.50, pers. 2.51, dan pers. 2.52 . Untuk menentukan besar daya yang ditransmisikan dalam tiap *port directional coupler* yang telah dibuat, dua buah BF5R-D1-N digunakan. Satu buah BF5R-D1-N digunakan sebagai sumber cahaya dan lainnya digunakan sebagai foto detektor yang secara khusus digunakan untuk serat optik. BF5R-D1-N dihubungkan dengan sumber listrik pada *power supply* 14,2 Volt yang merupakan daerah kerja dari BF5R-D1-N dirangkai seperti pada gambar 3.11.

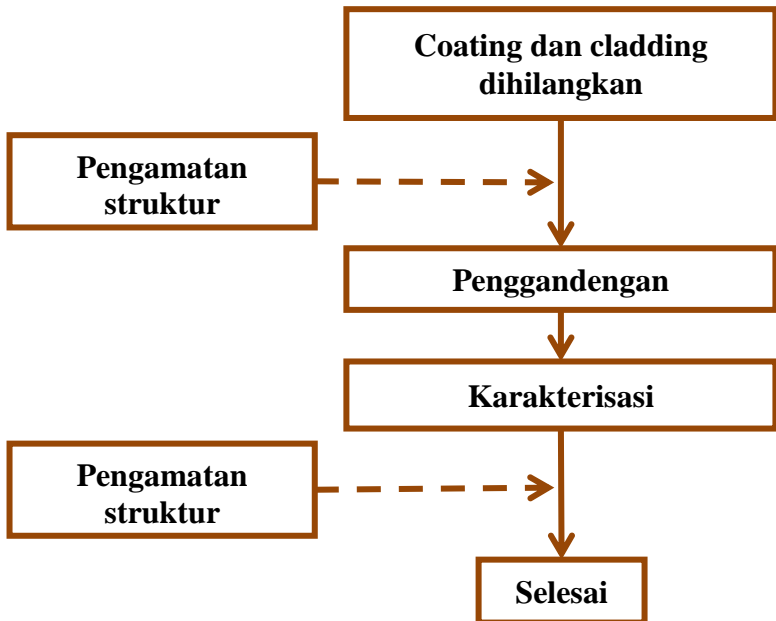


Gambar 3.11 Rangkaian alat pengukuran intensitas

BF5R-D1-N yang telah terhubung dengan *power supply* diletakkan diatas *DIN rail* untuk dapat berdiri kemudian di sejajarkan. *Port input* dimasukan pada lubang *input* di BF5R-D1-N sumber. *Port output* dimasukan pada lubang *output* di BF5R-D1-N foto detektor dan pastikan lampu indikator *output* telah menyala sempurna. Untuk mendapatkan data intensitas, tombol *set* BF5R-D1-N ditekan satu kali hingga muncul indikator *auto* berkedip 0,5 detik pada layar SV, tombol *set* ditekan hingga pada indikator layar SV berubah dari menunjukan tanda sedang proses mengambil data yang berkedip setiap 0,5 detik hingga menunjukan nilai intensitas pada layar SV. Nilai intensitas pada layar SV pada BF5R-D1-N pada foto detektor dicatat kemudian dihitung parameter-parameter *coupling* menggunakan persamaan pers. 2.50, pers. 2.51, dan pers. 2.52 untuk selanjutnya dianalisa.

### 3.3. Diagram Alir Penelitian

Terdapat beberapa tahapan dalam penelitian tugas akhir ini, dapat ditunjukkan dengan diagram alir penelitian pada Gambar 3.1. sebagai berikut :

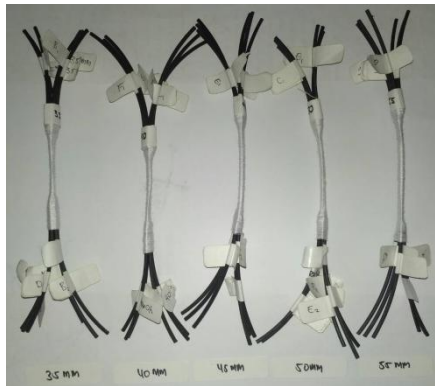


Gambar 3.12 Diagram alir penelitian

## BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Fabrikasi *Directional Coupler*

*Directional coupler* dengan konfigurasi 6×6 *star couple* menggunakan metode *fused biconical tapered* telah difabrikasi dengan panjang kupasan 35 mm, 40 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55mm.

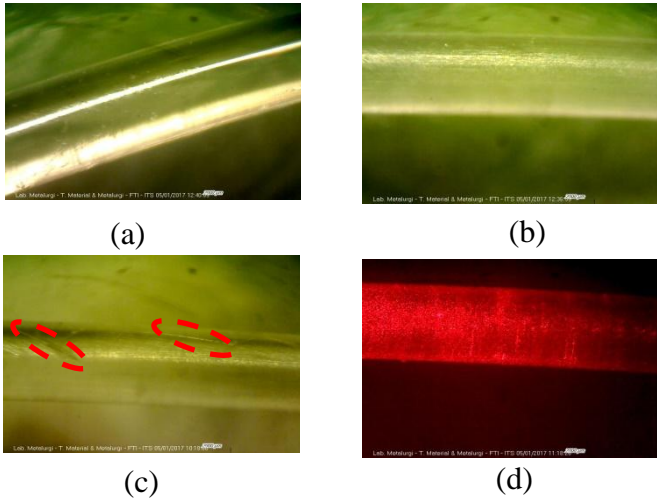


Gambar 4.1 Hasil fabrikasi directional coupler

Enam buah serat optik serat optik dihilangkan bagian *coating* dan *cladding*-nya. Menghilangkan *coating* dilakukan dengan alat bantu yang terbuat dari akrilik dan menghilangkan *cladding* dilakukan dengan cara mengamplas bertahap bagian daerah kupasan seperti yang telah dijelaskan pada prosedur penelitian pada bab sebelumnya. Penggunaan kertas gosok mesh 500 dan mesh 1000 dapat sangat cepat menghilangkan *cladding*, dengan ketebalan *cladding* dalam orde mikro menyebabkan saat proses pengamplasan *core* ikut terkikis dalam mengakibatkan ketebalan *core* setelah pengamplasan lebih kecil dari yang diinginkan sehingga penggunaan kertas gosok mesh 500 dan 1000 dihentikan. Penghilangan *cladding* dilakukan dalam penelitian ini diubah untuk pengamplasan awal dilakukan dengan penggunaan kertas gosok mesh 1500 hingga terdapat titik area bagian serat

optik yang mengalami kebocoran, kemudian diteruskan dengan kertas gosok mesh 2000 hingga serat optik bocor pada seluruh daerah kupasan, selanjutnya digunakan kertas gosok yang memiliki ukuran butir yang paling halus mesh 5000 untuk mendapatkan hasil yang lebih rata.

Serat optik yang hanya tersisa bagian *core* ini jika diberikan sumber cahaya laser maka akan terjadi kebocoran cahaya sepanjang daerah kupasan. Penggunaan kertas gosok dalam menghilangkan *cladding* menyebabkan permukaan *core* tergores, seperti pada gambar 4.2 (b) yang merupakan tampak permukaan hasil perbesaran 500 kali menggunakan mikroskop, yang menyebabkan normal bidang pada permukaan berubah. *Cladding* yang dihilangkan juga secara otomatis menyebabkan udara menjadi *cladding* pengganti. Tergantinya *cladding* ini menyebabkan berubahnya nilai sudut kritis pada daerah kupasan. Berubahnya normal bidang permukaan menyebabkan besar sudut datang cahaya terhadap normal bidang berubah sehingga terdapat cahaya yang datang lebih kecil dari pada sudut kritisnya. Akibatnya cahaya yang datang lebih kecil dari sudut kritisnya akan dibiaskan keluar medium *core* menuju udara sehingga terjadi kebocoran cahaya.



Gambar 4.2 hasil pengamatan stereo mikroskop, (a) serat optik yang dihilangkan coating, (b) serat optik yang dihilangkan cladding, (c) serat optik setelah di coupling pada daerah kupasan 35 mm, (d) serat optik diberikan cahaya laser

Enam buah serat optik yang hanya tersisa bagian *core* ini kemudian diberi label A, B, C, D, E, dan F yang selanjutnya digandeng pada daerah kupasan dengan menggunakan benang jahit yang kemudian dikarakterisasi yang akan dibahas pada sub bab selanjutnya. Setelah dilakukan karakterisasi *coupling* pada daerah kupasan dilepas kembali untuk mengetahui pengaruh penggunaan dari benang jahit. Dari hasil tampak permukaan pada gambar 4.2 (c) penggunaan benang jahit menyebabkan sayatan pada permukaan *core*, sayatan ini dapat menyebabkan rugi daya yang lebih besar seperti yang dijelaskan sebelumnya mengenai penggunaan kertas gosok.

#### 4.2 Karakterisasi *Directional Coupler*

Pada saat karakterisasi dilakukan, BF5R-D1-N sumber input diukur menggunakan serat optik tanpa perlakuan. mulanya BF5R-D1-N di set dalam *mode* sensitifitas *auto* dan respon standar dengan waktu respon 500 mikro detik. Pada *mode* ini BF5R-D1-N ini dapat mengambil 2000 data dalam satu detik, akan tetapi pada fitur ini BF5R-D1-N hanya dapat menunjukkan nilai maksimum sampai angka *incident light level* 4000 dan ditambah dengan keterbatasan BF5R-D1-N pada layar *incident light level* hanya mampu berubah-ubah dalam periode 0,5 detik sehingga proses pengambilan data yang dilakukan hanya dapat dilakukan dengan dua cara untuk mendapatkan nilai yang sebenarnya pada penelitian, yakni menggunakan fitur data bank yang terdapat pada BF5R-D1-N atau menggunakan fitur *Set value*. Fitur data bank adalah fitur dari BF5R-D1-N yg digunakan untuk merekam data pada saat proses pengambilan data, data-data yang terekam ini kemudian dapat dilihat satu per satu setelah proses perekaman dilakukan. Fitur *set value* adalah fitur metode pengambilan data dengan cara menentukan nilai-nilai yang memenuhi kriteria kemudian direkam selama proses pengambilan data dan secara otomatis menunjukkan hanya satu buah nilai yang telah diproses. Sehingga untuk memudahkan pengambilan data digunakan *mode set value* untuk mengambil data. Nilai yang didapatkan pada saat pengambilan data awal ini adalah 3998 au. Mengingat nilai yang didapatkan sangat mendekati nilai maksimum maka *mode* waktu respon di turunkan pada *mode* long karena pada *mode* BF5R-D1-N dapat menentukan angka *incident light level* maksimal hingga 10000. Dari pengukuran yang diperoleh didapatkan sumber cahaya BF5R-D1-N memiliki nilai rata-rata 7145,333 au.

Dari hasil karakterisasi yang telah dilakukan didapatkan nilai rata-rata intensitas pada tiap-tiap *port* pada *directional coupler* yang telah difabrikasi yang akan disajikan sebagai berikut:



Tabel 4.1 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port A1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	1033,45	662,1	367,85	361	412,25	456,05
40	1312,55	453,1	275,05	237,85	302,2	424,5
45	1020,1	762,05	335,9	356,25	424,15	724,15
50	1046,2	427,6	287,4	312,05	382,35	556,15
55	1033,6	405,7	266,45	289,5	488,25	294,2

Tabel 4.2 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port B1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	463,8	1083,3	362	225,9	246,2	252,35
40	765,6	1351,4	664,05	345,15	325,9	282,35
45	505,15	1023,55	452,2	511,2	881,1	756,15
50	374,45	1199	443,9	288,05	695,25	343,3
55	517,2	1017,9	519,9	265,4	451,7	100,95

Tabel 4.3 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port C1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	285	382,95	431,55	191,2	138,4	128,9
40	286,05	624,05	1478,65	627,05	304,95	215,1
45	300	684,2	957,95	491,95	409,05	355,3
50	397,15	423,75	1219,3	281	255,95	250,15
55	362,85	637,35	1075	317,5	526,9	168,15

Tabel 4.4 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port D1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	249,3	272,8	316,65	603,1	345,6	216,2
40	278,3	390,2	757,2	1589,1	639,2	290,3
45	251,45	441,95	381,35	987,45	668,4	334,2
50	221,3	241,4	305,65	1144,75	579,4	466,15
55	305,15	278,65	302,35	983,75	621,3	275,8

Tabel 4.5 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port E1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	423,2	424,95	230,3	350,35	1011,4	367,4
40	332,3	331,8	305,25	504,2	1210,35	456,25
45	293,6	737,3	320,6	732,6	1596,18	748,9
50	259,8	274,2	274,35	380,2	1098,25	546,25
55	368,8	334	321,55	383,3	1054,6	282,05

Tabel 4.6 Data intensitas pada port output *directional coupler* dengan input port F1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	354,75	246,7	137,7	142,7	298,8	510,7
40	544,2	327,1	280,3	319,1	575,15	1119,5
45	897,1	519,2	340,15	404,35	965,6	1666,85
50	545,05	458	449,15	563,35	602,9	1279,7
55	448,05	274,15	233,7	393,75	427,1	645,9

Tabel 4.7 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port A1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	B1	C1	D1	E1	F1
35	328,3	277,55	318,05	329,9	324,65
40	297,3	70	192,25	244,3	300,25
45	283,6	286,05	251,65	220	268,4
50	70	147,15	280,05	255,2	314,8
55	256,1	273,1	283,8	243,85	297

Tabel 4.8 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port B1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	A1	C1	D1	E1	F1
35	347,75	369,5	334,15	341	334,25
40	295,05	304,05	238,45	47	301,8
45	298,05	201,5	80	290,75	266,05
50	287,7	281,35	270,6	236,95	288,3
55	276,1	299	279,05	243,1	278,05

Tabel 4.9 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port C1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	A1	B1	D1	E1	F1
35	327,3	364,65	317,6	320,6	310,45
40	228,3	161,65	253,2	278,4	274,1
45	292,55	302,1	286,1	228,25	262,05
50	286,4	282,05	253,65	42	284,65
55	277,05	305,1	300,2	275,4	292,1

Tabel 4.10 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port D1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	A1	B1	C1	E1	F1
35	331,8	327,45	341	349,45	324,95
40	256,95	298,05	307	257,4	267
45	253,2	253,35	288,05	281,7	203,85
50	54	274,9	290,7	315,7	295,45
55	281,7	286,45	297,4444	258,05	238,05

Tabel 4.11 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port E1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	A1	B1	C1	D1	F1
35	339,9	304,4	320,55	354,2	280,5
40	287,85	298,2	283,65	309,2	321,7
45	290,9	288	266,6	269,3	280
50	292,4	282,2	243,05	323,3	246
55	231,3	240,45	263,25	245,1	241,3

Tabel 4.12 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port F1

Panjang kupasan (mm)	Output (au)				
	A1	B1	C1	D1	E1
35	342,45	336,15	314,65	326,6	368,95
40	163,1	266,25	286,9	295	308,65
45	102,3	208,35	261,95	213,45	283,9
50	278,9	258,75	303,75	253,1	256,35
55	292	271,25	274,25	291	255,35

Nilai peresentase daya *directional coupler* pada variasi panjang daerah *coupling* adalah:

Tabel 4.13 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port A1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	14,445	9,255	5,142	5,046	5,762	6,374
40	18,346	6,333	3,845	3,325	4,224	5,933
45	14,258	10,652	4,695	4,980	5,929	10,122
50	14,623	5,977	4,017	4,362	5,344	7,774
55	14,447	5,671	3,724	4,047	6,825	4,112

Tabel 4.14 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port B1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	6,483	15,142	5,060	3,158	3,442	3,527
40	10,701	18,889	9,282	4,824	4,555	3,947
45	7,061	14,307	6,321	7,145	12,316	10,569
50	5,234	16,759	6,205	4,026	9,718	4,798
55	7,229	14,228	7,267	3,710	6,314	1,411

Tabel 4.15 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port C1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	3,989	5,359	6,040	2,676	1,937	1,804
40	4,003	8,734	20,694	8,776	4,268	3,010
45	4,199	9,575	13,407	6,885	5,725	4,972
50	5,558	5,930	17,064	3,933	3,582	3,501
55	5,078	8,920	15,045	4,443	7,374	2,353

Tabel 4.16 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port D1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	3,485	3,813	4,426	8,430	4,831	3,022
40	3,890	5,454	10,584	22,212	8,934	4,058
45	3,515	6,177	5,330	13,802	9,343	4,671
50	3,093	3,374	4,272	16,001	8,099	6,516
55	4,265	3,895	4,226	13,750	8,684	3,855

Tabel 4.17 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port E1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	5,915	5,940	3,219	4,897	14,137	5,135
40	4,645	4,638	4,267	7,047	16,918	6,377
45	4,104	10,307	4,482	10,241	22,311	10,468
50	3,631	3,833	3,835	5,314	15,351	7,635
55	5,155	4,668	4,494	5,358	14,741	3,942

Tabel 4.18 Data persentase pada port output *directional coupler* dengan input port F1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
35	4,959	3,448	1,925	1,995	4,177	7,138
40	7,607	4,572	3,918	4,460	8,039	15,648
45	12,539	7,257	4,754	5,652	13,497	23,298
50	7,618	6,402	6,278	7,874	8,427	17,887
55	6,263	3,832	3,267	5,504	5,970	9,028

Tabel 4.19 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port A1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	B1	C1	D1	E1	F1
35	4,589	3,879	4,446	4,611	4,538
40	4,156	0,978	2,687	3,415	4,197
45	3,964	3,998	3,517	3,075	3,752
50	0,978	2,057	3,914	3,567	4,400
55	3,580	3,817	3,967	3,408	4,151

Tabel 4.20 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port B1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	A1	C1	D1	E1	F1
35	4,861	5,165	4,671	4,766	4,672
40	4,124	4,250	3,333	0,657	4,218
45	4,166	2,816	1,118	4,064	3,719
50	4,021	3,933	3,782	3,312	4,030
55	3,859	4,179	3,900	3,398	3,886

Tabel 4.21 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port C1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	A1	B1	D1	E1	F1
35	4,581	5,103	4,445	4,487	4,345
40	3,195	2,262	3,544	3,896	3,836
45	4,094	4,228	4,004	3,194	3,667
50	4,008	3,947	3,550	0,588	3,984
55	3,877	4,270	4,201	3,854	4,088

Tabel 4.22 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port D1

Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	A1	B1	C1	E1	F1
35	4,638	4,577	4,766	4,884	4,542
40	3,592	4,166	4,291	3,598	3,732
45	3,539	3,541	4,026	3,937	2,849
50	0,755	3,842	4,063	4,413	4,130
55	3,937	4,004	4,158	3,607	3,327

Tabel 4.23 Data persentase balikan pada *directional coupler* dengan input port E1

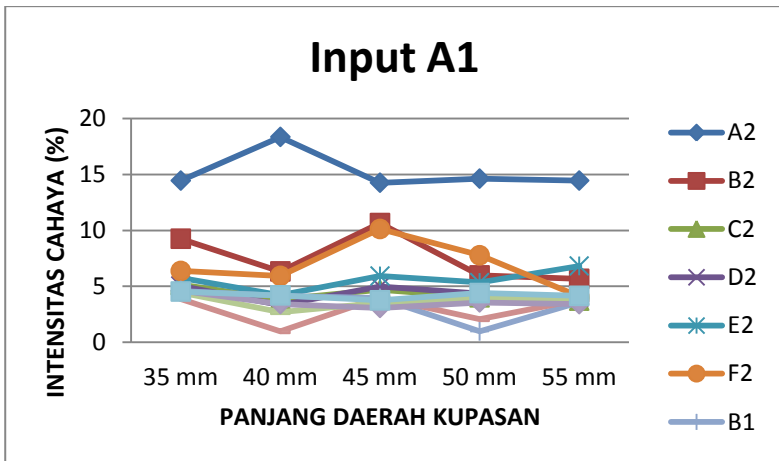
Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	A1	B1	C1	D1	F1
35	4,751	4,255	4,481	4,951	3,921
40	4,023	4,168	3,965	4,322	4,497
45	4,066	4,026	3,726	3,764	3,914
50	4,087	3,944	3,397	4,519	3,438
55	3,233	3,361	3,680	3,426	3,373

Tabel 4.24 Data intensitas balikan pada *directional coupler* dengan input port F1

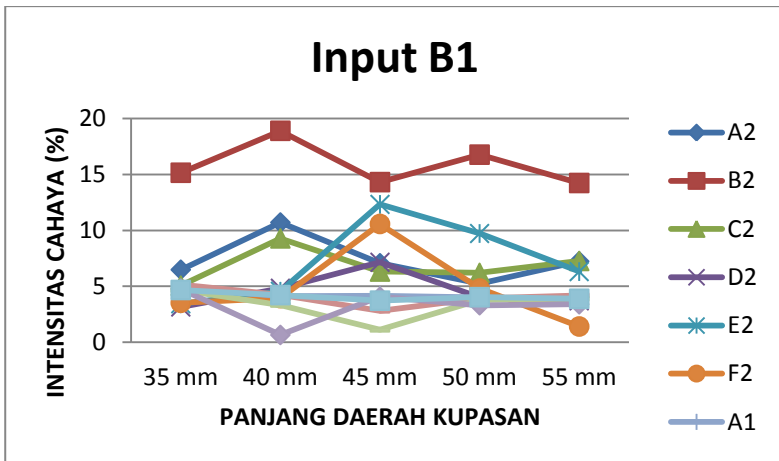
Panjang kupasan (mm)	Output (%)				
	A1	B1	C1	D1	E1
35	4,699	4,398	4,565	5,157	4,699
40	3,722	4,010	4,123	4,314	3,722
45	2,912	3,661	2,984	3,968	2,912
50	3,617	4,246	3,538	3,583	3,617
55	3,791	3,833	4,067	3,569	3,791



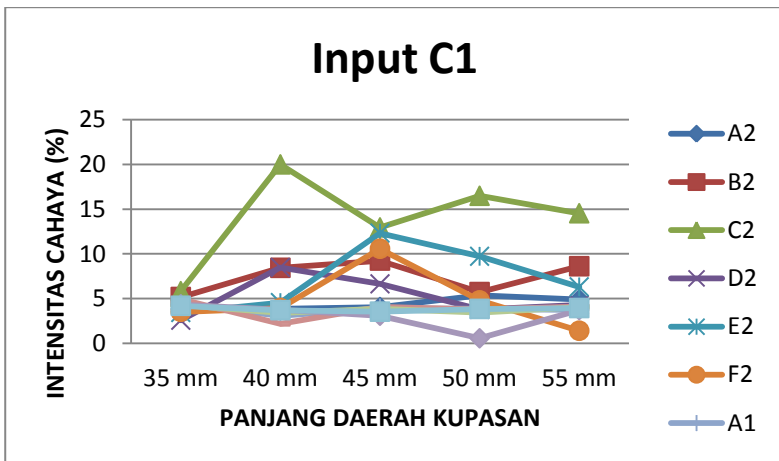
Dari data-data persentase tersebut dapat dibuat dalam bentuk grafik hubungan persentase intensitas cahaya pada *output* disetiap *port input* dengan variasi panjang daerah *coupling* sebagai berikut:



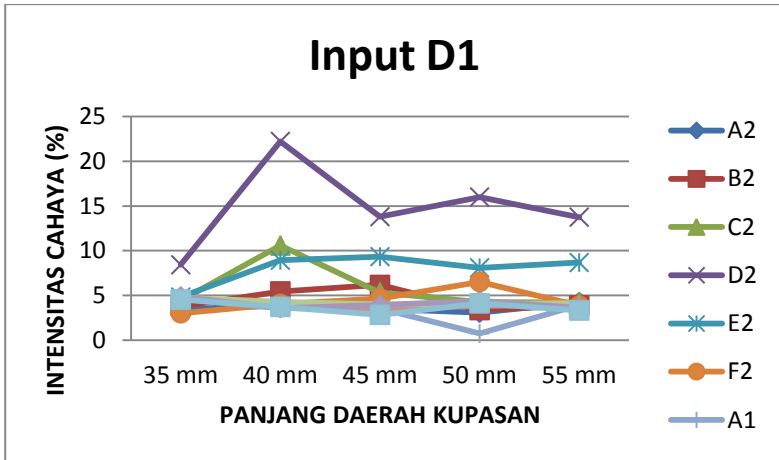
Gambar 4.3 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* A1



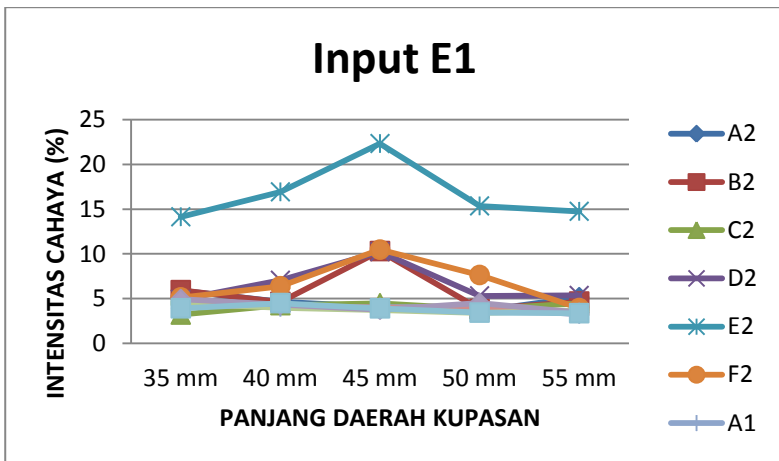
Gambar 4.4 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* B1



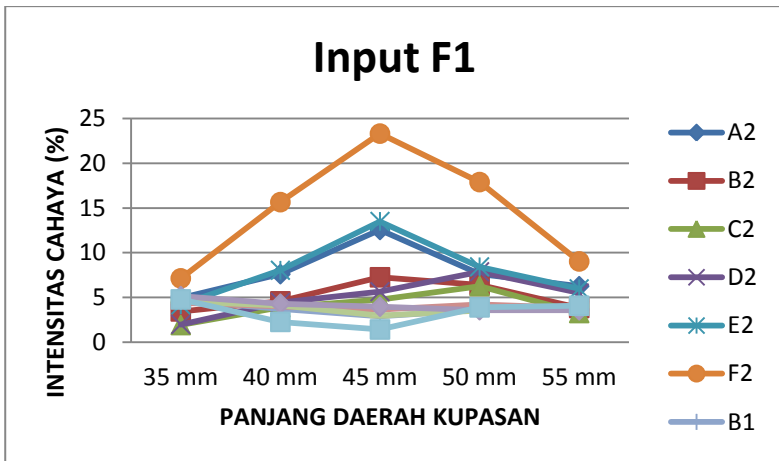
Gambar 4.5 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* C1



Gambar 4.6 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* D1



Gambar 4.7 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* E1



Gambar 4.8 Grafik pengaruh panjang daerah *coupling* terhadap presentase intensitas cahaya pada tiap output dengan *port input* F1

Dari data-data yang diperoleh dapat dihitung besar nilai persentase excess loss pada tiap-tiap chanel yang akan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.25 Data besar *excess loss* ( $Le$ ) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi

kupasan (mm)	<i>excess loss (%)</i>					
	A1	B1	C1	D1	E1	F1
35	31,91	39,05	56,78	48,59	38,40	52,75
40	42,56	31,22	36,06	25,49	35,13	37,31
45	31,06	26,40	38,25	39,27	18,59	18,05
50	42,99	34,18	46,27	41,44	41,01	26,63
55	42,25	40,62	38,68	42,29	44,57	46,79

Dari tabel 4.24 pada *coupler* hasil fabrikasi memiliki rugi daya yang besar. Rugi daya yang besar ini dapat disebabkan beberapa faktor. Pada *directional coupler* yang telah dibuat, serat optik dihilangkan *coating* dan *cladding* pada seluruh permukaannya disepanjang daerah kupasan. Penggunaan kertas gosok seperti yang sudah dijelaskan dalam pembahasan fabrikasi menyebabkan bocornya cahaya keluar. Oleh karena tidak terdapat pengganti *cladding* dan luasan daerah *core* yang *ter-coupling* lebih kecil dibandingkan luasan daerah *core* yang tertutup benang jahit menyebabkan cahaya yang bocor dapat diserap dan dipantulkan kembali oleh benang jahit, mengingat benang jahit yang digunakan adalah berwarna putih sehingga dapat memantulkan cahaya dibanding dengan benang jahit berwarna gelap. Cahaya yang dipantulkan benang jahit memiliki kemungkinan dipantulkan kembali kedalam *core* kemudian terpandu menuju port output, dipantulkan keluar selain *core* yang menyebabkan bertambahnya rugi daya, dan dipantulkan kembali menuju *core*, namun kemudian terpandu menuju port selain port output yang menyebabkan *directivity*. dapat dilihat pada tabel 4.18 sampai dengan tabel 4.23 besar intensitas yang kembali pada port-port selain port output berkisar antara 0,558%-5,516% dari besar input yang diberikan.

Dari tabel 4.24 pula dapat dilihat bahwa pada daerah kupasan 45 mm memiliki persentase rugi daya yang paling kecil. Jika dilihat permukaannya pada foto mikroskop serat-serat penyusun *coupler* ini memiliki permukaan yang sangat halus sehingga mengurangi kemungkinan rugi daya yang diakibatkan faktor geometri permukaan yang dapat terjadi.

Berdasarkan persamaan 2.50 dan persamaan 2.51 dapat dihitung nilai-nilai parameter *directional coupler* yang hasil perhitungannya akan disajikan sebagai berikut:

Tabel 4.26 Data besar *coupling ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah *coupling* 35 mm

<i>Input</i>	<i>Output</i> (dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,314	0,201	0,112	0,110	0,125	0,139
B1	0,176	0,411	0,137	0,086	0,093	0,096
C1	0,183	0,246	0,277	0,123	0,089	0,083
D1	0,124	0,136	0,158	0,301	0,172	0,108
E1	0,151	0,151	0,082	0,125	0,360	0,131
F1	0,210	0,146	0,081	0,084	0,177	0,302

Tabel 4.27 Data besar *coupling ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah *coupling* 40 mm

<i>Input</i>	<i>Output</i> (dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,437	0,151	0,092	0,079	0,101	0,141
B1	0,205	0,362	0,178	0,092	0,087	0,076
C1	0,081	0,176	0,418	0,177	0,086	0,061
D1	0,071	0,099	0,192	0,403	0,162	0,074
E1	0,106	0,106	0,097	0,161	0,385	0,145
F1	0,172	0,103	0,089	0,101	0,182	0,354

Tabel 4.28 Data besar *coupling ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah *coupling* 45 mm

<i>Input</i>	<i>Output</i> (dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,282	0,210	0,093	0,098	0,117	0,200
B1	0,122	0,248	0,110	0,124	0,213	0,183
C1	0,094	0,214	0,300	0,154	0,128	0,111
D1	0,082	0,144	0,124	0,322	0,218	0,109
E1	0,066	0,166	0,072	0,165	0,360	0,169
F1	0,187	0,108	0,071	0,084	0,201	0,348

Tabel 4.29 Data besar *coupling ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah *coupling* 50 mm

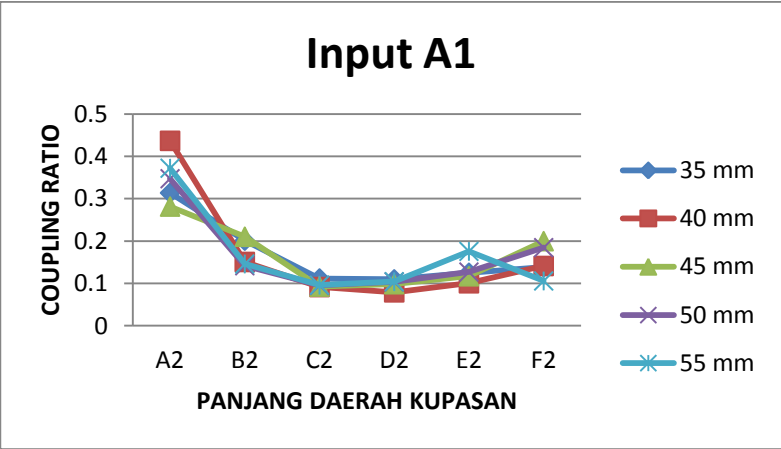
<i>Input</i>	<i>Output</i> (dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,347	0,142	0,095	0,104	0,127	0,185
B1	0,112	0,359	0,133	0,086	0,208	0,103
C1	0,140	0,150	0,431	0,099	0,091	0,088
D1	0,075	0,082	0,103	0,387	0,196	0,158
E1	0,092	0,097	0,097	0,134	0,388	0,193
F1	0,140	0,117	0,115	0,145	0,155	0,328

Tabel 4.30 Data besar *coupling ratio* (CR) dari *directional coupler* yang telah difabrikasi dengan daerah *coupling* 55 mm

<i>Input</i>	<i>Output</i> (dB)					
	A2	B2	C2	D2	E2	F2
A1	0,372	0,146	0,096	0,104	0,176	0,106
B1	0,180	0,354	0,181	0,092	0,157	0,035
C1	0,118	0,206	0,348	0,103	0,171	0,054
D1	0,110	0,101	0,109	0,356	0,225	0,100

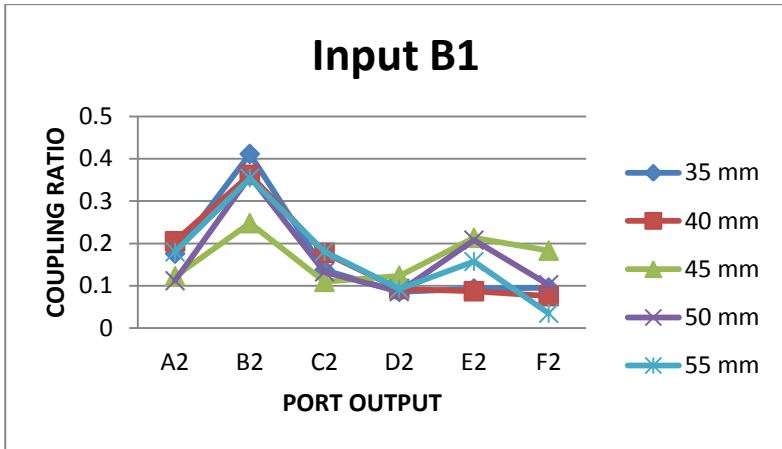
E1	0,134	0,122	0,117	0,140	0,384	0,103
F1	0,185	0,113	0,096	0,163	0,176	0,267

Dari data-data *coupling ratio* tersebut dapat dibuat dalam bentuk grafik hubungan nilai *output* terhadap *coupling ratio* pada tiap *port input*:

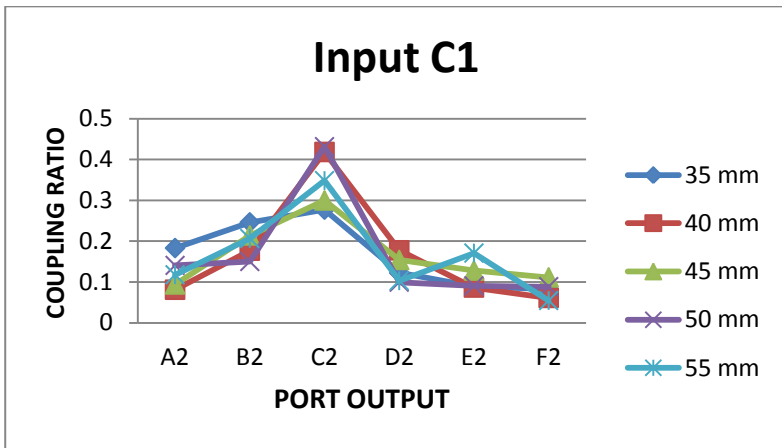


Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input* A1

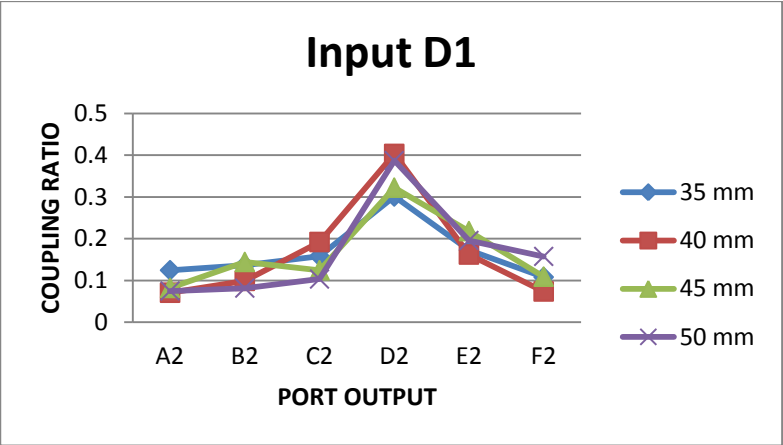




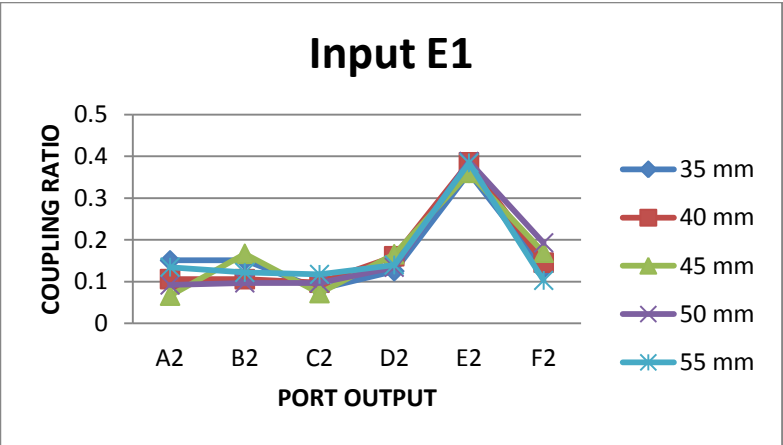
Gambar 4.10 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input B1*



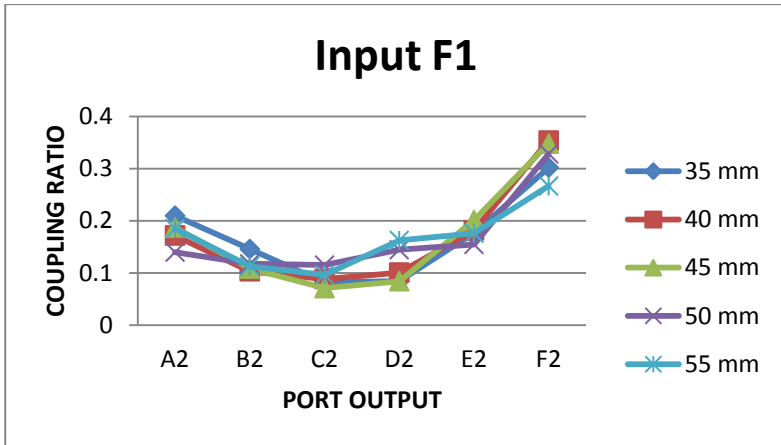
Gambar 4.11 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input C1*



Gambar 4.12 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input* D1

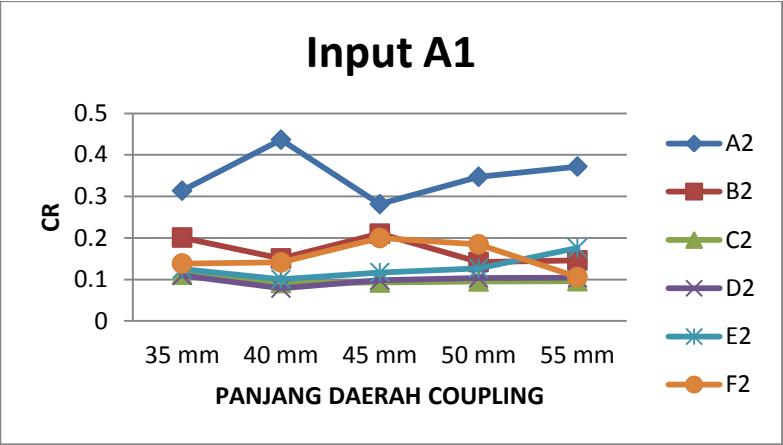


Gambar 4.13 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input* E1

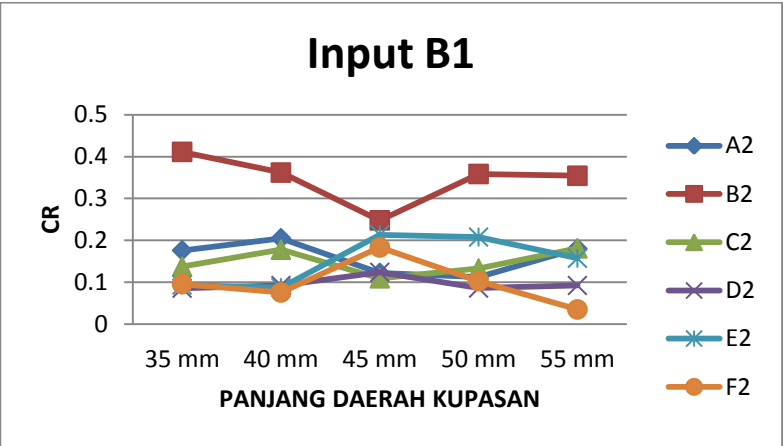


Gambar 4.14 Grafik perbandingan nilai *coupling ratio* terhadap tiap *port output* pada variasi daerah *coupling* pada *port input* F1

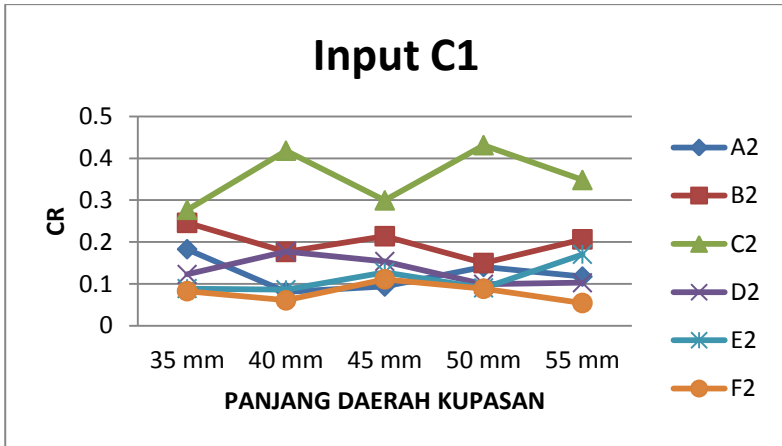
Dari gambar 4.9 sampai dengan gambar 4.14 dapat dilihat bahawa pada input A1 memiliki persebaran daya yang anti simetri dengan F1, B1 anti simetri dengan E1, dan C1 anti simetri dengan D1. selain itu berikut dapat dibuat hubungan nilai *coupling ratio* dengan panjang daerah *coupling*.



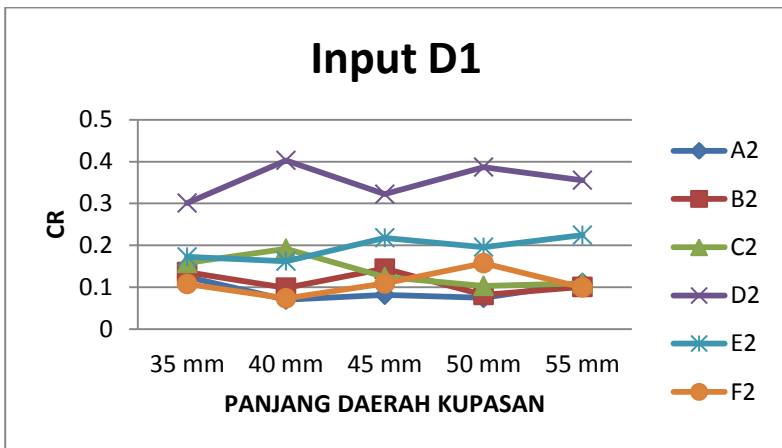
Gambar 4.15 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port* A1



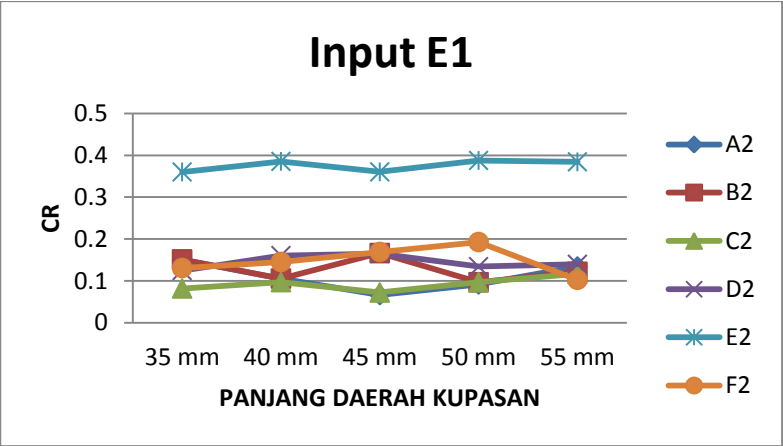
Gambar 4.16 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port* B1



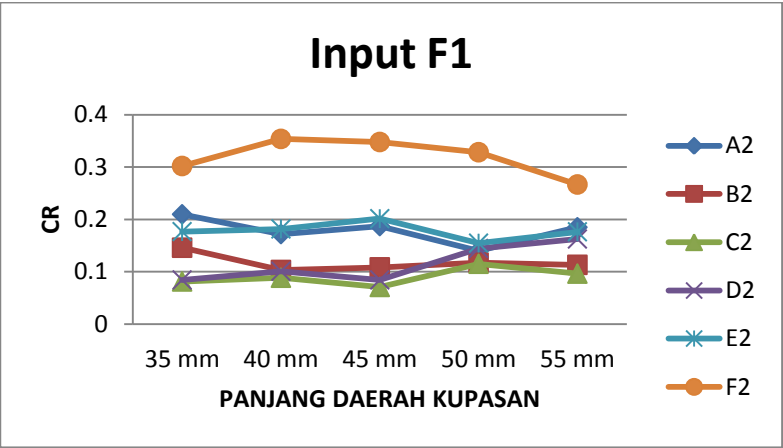
Gambar 4.17 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port C1*



Gambar 4.18 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port D1*



Gambar 4.19 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port* E1



Gambar 4.20 Grafik hubungan nilai *coupling ratio* dengan daerah *coupling* pada tiap *port output* dengan *input port* F1

Dari parameter *directional coupler* yang didapatkan terlihat jelas bahwa *directional coupler* yang telah dibuat memiliki proporsi daya yang lebih dominan pada *output* yang memiliki label yang sama dengan *input*-nya, sebagai contoh pada gambar 4.14 *directional coupler* yang diberi *input* F1 memiliki nilai *coupling ratio* yang paling besar pada *output* F2, terbesar kedua berada pada *output* A2 dan E2, terbesar ketiga B2 dan D2, dan yang paling rendah adalah C2. Proporsi daya pada *directional coupler* yang telah dibuat dan dapat dijelaskan sesuai dengan teori moda terkopel. Untuk lebar *gap* yang kecil pada daerah *coupling*, dapat dikatakan “berhimpit”, dalam hal ini antara *core* F dengan *core* A dan E, gelombang *evanescent* moda dasar dari *core* yang bersebelahan sepanjang daerah *coupling* saling berinteraksi menghasilkan efek *coupling* yang kekuatannya tergantung pada panjang gelombang optik yang merambat di dalamnya.

Timbulnya *coupling* berpengaruh terhadap perambatan daya gelombang optik disepanjang *core*. Jika diberikan gelombang optik yang masuk pada *input* F1, maka sebagian berkasnya ter-*evanescent* menuju *core* A dan E sepanjang daerah *coupling*. Berkas pada *core* A dan E terpandu dan sebagian berkasnya akan ter-*evanescent* kembali pada *core* F. *Overlapping* antar gelombang *evanescent* yang saling berinterferensi mengakibatkan terjadinya proses perpindahan daya antar *core* tersebut. Pada *core* B yang terletak diagonal dengan *core* F, apabila pada proses fabrikasi tersusun sempurna, lebar *gap* yang dimiliki keduanya lebih besar dibandingkan dengan antara *core* F dengan *core* A dan E sehingga efek *coupling* antara *core* F dan B lebih kecil yang menyebabkan daya pada *core* B lebih dominan didapatkan dari efek *coupling* dengan *core* A dan E

yang berada di sebelahnya. Kemungkinan lain yang dapat terjadi adalah jika *core* B memiliki jarak yang cukup jauh dengan *core* F maka di sepanjang daerah *coupling* tidak menimbulkan efek *coupling* antara *core* B dan *core* F sehingga daya pada *core* B memang hanya akibat dari efek gandingan dari *core* A dan E saja. Interaksi efek gandingan ini saling mempengaruhi berantai antar *core* satu dengan *core* di sebelahnya sepanjang daerah *coupling* sehingga *core* C yang letaknya paling jauh dengan *core* F mendapatkan proporsi daya yang paling kecil. Pada variasi daerah *coupling* 35 mm pada *port* E jika diberikan *input* pada A1, maka seharusnya nilai *coupling ratio* pada *port* F2 lebih besar dari pada E2. Hal yang sama juga terjadi jika *input* diberikan pada C1, maka seharusnya nilai *coupling ratio* pada *port* D2 lebih besar dari pada E2, namun pada kedua *input* ini *port* E2 memiliki nilai *coupling ratio* yang lebih besar. Persoalan berikut dapat disebabkan pada saat proses penggandingan tidak sempurna. *Core* E pada daerah *coupling* memiliki *gap* yang lebih kecil terhadap *core* A dan C dibandingkan dengan lebar *gap* *core* A terhadap *core* F dan *core* C terhadap *core* D sehingga efek *coupling* yang diterima *core* E lebih besar dibandingkan efek *coupling* yang diterima oleh *core* F dan D pada kedua *input* tersebut.

Berdasarkan pada tabel 4.25, pada *input* C1 pada daerah *coupling* 35 mm menghasilkan perbandingan *coupling ratio* pada output A2, B2, C2, D2, E2, dan F2 adalah 0,183 : 0,246 : 0,277 : 0,123 : 0,089 : 0,083. Berdasarkan tabel 4.27, pada *input* A1 dan B1 pada daerah *coupling* 45 mm menghasilkan perbandingan *coupling ratio* masing-masing adalah 0,282 : 0,210 : 0,093 : 0,098 : 0,117 : 0,2 dan 0,12 : 0,248 : 0,11 : 0,213 : 0,183. Berdasarkan pada tabel 4.28, pada *input* F1 pada daerah *coupling* 50 mm menghasilkan



perbandingan *coupling ratio* adalah 0,140 : 0,117 : 0,115 : 0,145 : 0,155 : 0,328. Dan yang terakhir berdasarkan pada tabel 4.29, pada input F1 pada daerah coupling 55 mm menghasilkan perbandingan *coupling ratio* adalah 0,185 : 0,113 : 0,096 : 0,163 : 0,176 : 0,267. Yang mana nilai-nilai *coupling ratio* ini masuk dalam daerah rentang nilai *coupling ratio* sesuai dengan yang telah dilakukan (Kwang:2013), dapat dilihat pada gambar 2.10, sehingga berdasarkan data-data tersebut *directional coupler* pada daerah coupling 35 mm, 45 mm, 50 mm, dan 55 mm hasil fabrikasi yang telah dilakukan dapat digunakan sebagai pembagi berkas dan pembagi daya cahaya.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB V KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Fabrikasi *directional coupler* konfigurasi 6×6 tipe *star couple* dari serat optik *multimode* dengan pendekatan *fused biconical tapered* dengan perekat benang jahit dapat melukai serat optik pada daerah kupasan
2. Hasil karakterisasi pada *directional coupler* konfigurasi 6×6 tipe *star coupler* hasil fabrikasi pada kupasan 35 mm dan *input* pada C1 memiliki perbandingan CR = 0,183 : 0,246 : 0,277 : 0,123 : 0,089 : 0,083, pada kupasan 45 mm dan *input* pada A1 dan B1 memiliki perbandingan CR = 0,282 : 0,210 : 0,093 : 0,098 : 0,117 : 0,2 dan 0,12 : 0,248 : 0,11 : 0,213 : 0,183, pada kupasan 50 mm dan *input* pada F1 memiliki perbandingan CR = 0,140 : 0,117 : 0,115 : 0,145 : 0,155 : 0,328 , pada kupasan 55 mm dan *input* pada F1 memiliki perbandingan CR = 0,185 : 0,113 : 0,096 : 0,163 : 0,176 : 0,267.dapat digunakan sebagai pembagi daya atau pun pembagi berkas cahaya.

### 5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan :

1. Penggandengan pada daerah *coupling* tidak lagi menggunakan benang jahit karena dapat merusak struktur permukaan *core* sebagai pengganti dapat digunakan senar pancing atau perekat lain yang tidak menggores *core* serat optik.

2. Penghilangan cladding yang dilakukan dengan kertas gosok dengan mesh  $\geq 5000$  atau diganti menggunakan acetone agar permukaan pada daerah coupling lebih halus.
3. Daerah *coupling* dilapisi PMMA yang indeks biasnya lebih kecil daripada *core* serat optik sebagai pengganti cladding yang dihilangkan.
4. Dilakukan metode lain, seperti *side-polishing*, *twisting and fusing*, *molding*, *using hollow waveguide*, *polymer rectangular waveguide*, *heating and pressing* dengan konfigurasi yang sama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abramczyk. 2008. **Fundamentals of Optical Fiber Transmission**. Berlin: Technical University of Lodz
- Abrate, Silvio, dkk. 2016. **Current Developments in Optical Fiber Technology**. Torino: Istituto Superiore Boella
- Dosen Fisika ITS. **Diktat Kuliah Fotonika**. Surabaya: ITS
- Keiser, Gerd.1991.**Optical Fiber Communications 2nd Edition**. New York: McGraw-Hill
- Kim, Kwang Taek, dkk.2013. **Fabrication and Characterization of N×N Plastic Optical Fiber Star Coupler based on Fused Combining**. Korean Journal of Optics and Photonics, Vol.24 No.1 Daegu, Korea.
- Powers, John. 1997. **An Introduction To Fiber Optic Systems**. 2nd Edition. New York: Mc Graw Hill.
- Rubiyanto, A., Rohedi, A.Y. 2003. **Optika Terpadu**. Buku ajar Jurusan Fisika. Surabaya: ITS.
- Saleh, B.E.A., and Teich, M.C. 2007. **Fundamentals of Photonics**. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Samian, 2008. **Fabrikasi Directional Coupler Serat Optik**. Surabaya: ITS.
- Tricker, R. 2002. **Optoelectronic and Fiber Optik Technology**. Jordan Hill, Oxford.
- Widodo. 1995. **Optoelektronika**. Yogyakarta: Penerbit Andi

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIARN A

Tabel 1 Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* A1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	14,4	9,3	5,1	5,0	5,8	6,4	0,0	4,6	3,9	4,4	4,6	4,5	31,9
40MM	18,3	6,3	3,8	3,3	4,2	5,9	0,0	4,2	1,0	2,7	3,4	4,2	42,6
45MM	14,3	10,7	4,7	5,0	5,9	10,1	0,0	4,0	4,0	3,5	3,1	3,8	31,1
50MM	14,6	6,0	4,0	4,4	5,3	7,8	0,0	1,0	2,1	3,9	3,6	4,4	43,0
55MM	14,4	5,7	3,7	4,0	6,8	4,1	0,0	3,6	3,8	4,0	3,4	4,2	42,3

Tabel 2 Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* B1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	6,5	15,1	5,1	3,2	3,4	3,5	4,9	0,0	5,2	4,7	4,8	4,7	39,1
40MM	10,7	18,9	9,3	4,8	4,6	3,9	4,1	0,0	4,2	3,3	0,7	4,2	31,2
45MM	7,1	14,3	6,3	7,1	12,3	10,6	4,2	0,0	2,8	1,1	4,1	3,7	26,4
50MM	5,2	16,8	6,2	4,0	9,7	4,8	4,0	0,0	3,9	3,8	3,3	4,0	34,2
55MM	7,2	14,2	7,3	3,7	6,3	1,4	3,9	0,0	4,2	3,9	3,4	3,9	40,6

Tabel 3 Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* C1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	3,9	5,2	5,8	2,6	1,9	1,7	4,4	4,9	0,0	4,3	4,3	4,2	56,8
40MM	3,9	8,4	20,0	8,5	4,1	2,9	3,1	2,2	0,0	3,4	3,8	3,7	36,1
45MM	4,1	9,2	12,9	6,6	5,5	4,8	4,0	4,1	0,0	3,9	3,1	3,5	38,3
50MM	5,4	5,7	16,5	3,8	3,5	3,4	3,9	3,8	0,0	3,4	0,6	3,8	46,3
55MM	4,9	8,6	14,5	4,3	7,1	2,3	3,7	4,1	0,0	4,1	3,7	3,9	38,7

Tabel 4. Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* D1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	3,5	3,8	4,4	8,4	4,8	3,0	4,6	4,6	4,8	0,0	4,9	4,5	48,6
40MM	3,9	5,5	10,6	22,2	8,9	4,1	3,6	4,2	4,3	0,0	3,6	3,7	25,5
45MM	3,5	6,2	5,3	13,8	9,3	4,7	3,5	3,5	4,0	0,0	3,9	2,8	39,3
50MM	3,1	3,4	4,3	16,0	8,1	6,5	0,8	3,8	4,1	0,0	4,4	4,1	41,4
55MM	4,3	3,9	4,2	13,8	8,7	3,9	3,9	4,0	4,2	0,0	3,6	3,3	42,3



Tabel 5. Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* E1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	5,9	5,9	3,2	4,9	14,1	5,1	4,8	4,3	4,5	5,0	0,0	3,9	38,4
40MM	4,6	4,6	4,3	7,0	16,9	6,4	4,0	4,2	4,0	4,3	0,0	4,5	35,1
45MM	4,1	10,3	4,5	10,2	22,3	10,5	4,1	4,0	3,7	3,8	0,0	3,9	18,6
50MM	3,6	3,8	3,8	5,3	15,4	7,6	4,1	3,9	3,4	4,5	0,0	3,4	41,0
55MM	5,2	4,7	4,5	5,4	14,7	3,9	3,2	3,4	3,7	3,4	0,0	3,4	44,6

Tabel 6. Hasil perhitungan *loss* pada *portinput* F1

KUPASAN	PERSENTASE (%)												
	A2	B2	C2	D2	E2	F2	A1	B1	C1	D1	E1	F1	LOSS
35MM	5,0	3,4	1,9	2,0	4,2	7,1	4,8	4,7	4,4	4,6	5,2	0,0	52,8
40MM	7,6	4,6	3,9	4,5	8,0	15,6	2,3	3,7	4,0	4,1	4,3	0,0	37,3
45MM	12,5	7,3	4,8	5,7	13,5	23,3	1,4	2,9	3,7	3,0	4,0	0,0	18,0
50MM	7,6	6,4	6,3	7,9	8,4	17,9	3,9	3,6	4,2	3,5	3,6	0,0	26,6
55MM	6,3	3,8	3,3	5,5	6,0	9,0	4,1	3,8	3,8	4,1	3,6	0,0	46,8

Tabel 7. hasil perhitungan *directivity* pada *input* A1

KUPASAN	D (dB)				
	B2	C2	D2	E2	F2
35MM	-13,53	-14,26	-13,67	-13,51	-13,58
40MM	-13,96	-20,24	-15,85	-14,81	-13,92
45MM	-14,17	-14,13	-14,68	-15,27	-14,40
50MM	-20,24	-17,01	-14,22	-14,62	-13,71
55MM	-14,61	-14,33	-14,16	-14,82	-13,96

Tabel 8. hasil perhitungan *directivity* pada *input* B1

KUPASAN	D (dB)				
	A2	C2	D2	E2	F2
35MM	-13,28	-13,02	-13,45	-13,36	-13,45
40MM	-13,99	-13,86	-14,92	-21,97	-13,90
45MM	-13,95	-15,65	-19,66	-14,06	-14,44
50MM	-14,10	-14,20	-14,37	-14,95	-14,09
55MM	-14,28	-13,94	-14,24	-14,83	-14,25

Tabel 9. hasil perhitungan *directivity* pada *input* C1

KUPASAN	D (dB)				
	A2	B2	D2	E2	F2
35MM	-13,54	-13,07	-13,67	-13,63	-13,77
40MM	-15,11	-16,61	-14,66	-14,25	-14,31
45MM	-14,03	-13,89	-14,13	-15,11	-14,51
50MM	-14,12	-14,19	-14,65	-22,46	-14,15
55MM	-14,27	-13,85	-13,92	-14,29	-14,04

Tabel 10. hasil perhitungan *directivity* pada *input* D1

KUPASAN	D (dB)				
	A2	B2	C2	E2	F2
35MM	-13,33	-13,39	-13,21	-13,11	-13,42
40MM	-14,44	-13,80	-13,67	-14,43	-14,28
45MM	-14,51	-14,50	-13,95	-14,04	-15,45
50MM	-21,22	-14,15	-13,91	-13,55	-13,84
55MM	-14,04	-13,97	-13,81	-14,42	-14,77

Tabel 11. hasil perhitungan *directivity* pada *input* E1

KUPASAN	D (dB)				
	A2	B2	C2	D2	F2
35MM	-13,38	-13,86	-13,63	-13,20	-14,21
40MM	-14,10	-13,95	-14,16	-13,79	-13,62
45MM	-14,05	-14,10	-14,43	-14,39	-14,22
50MM	-14,03	-14,19	-14,84	-13,60	-14,78
55MM	-15,05	-14,88	-14,49	-14,80	-14,87

Tabel 12. hasil perhitungan *directivity* pada *input* F1

KUPASAN	D (dB)				
	A2	B2	C2	D2	E2
35MM	-13,35	-13,43	-13,71	-13,55	-13,02
40MM	-16,57	-14,44	-14,12	-13,99	-13,80
45MM	-18,59	-15,50	-14,51	-15,40	-14,16
50MM	-14,24	-14,56	-13,87	-14,66	-14,60
55MM	-14,04	-14,36	-14,31	-14,05	-14,62

**LAMPIRAN B**  
**Foto mikroskop hasil pengamatan**



**Gambar tampak permukaan fiber yang dihilangkan coatingnya**



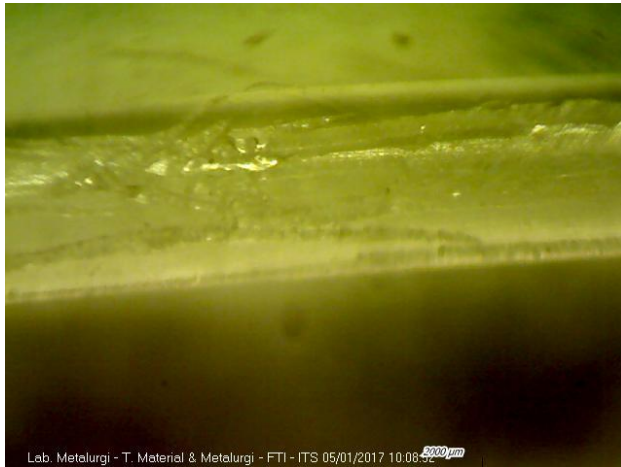
**Gambar tampak permukaan fiber yang dihilangkan claddingnya menggunakan kertas gosok sebelum digandeng**



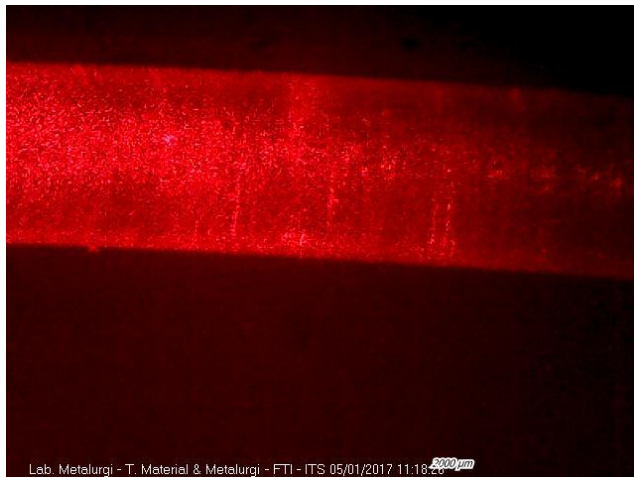
Gambar lain tampak permukaan fiber yang dihilangkan claddingnya menggunakan kertas gosok sebelum digandeng



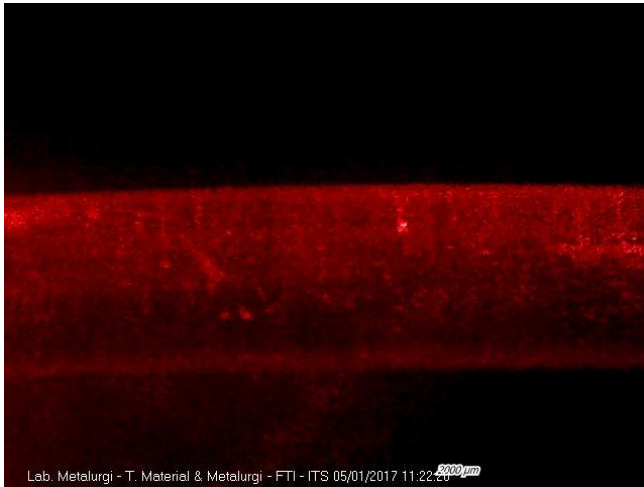
Gambar tampak permukaan core tersayat benang pada fiber A kupasan 35 mm



Gambar tampak permukaan core tersayat benang pada fiber E  
kupasan 35 mm



Gambar tampak permukaan core yang diberikan laser pada fiber  
A kupasan 35 mm



Gambar tampak permukaan core yang diberikan laser pada fiber E kupasan 35 mm

## A. Data Sheet BF5R-D1-N

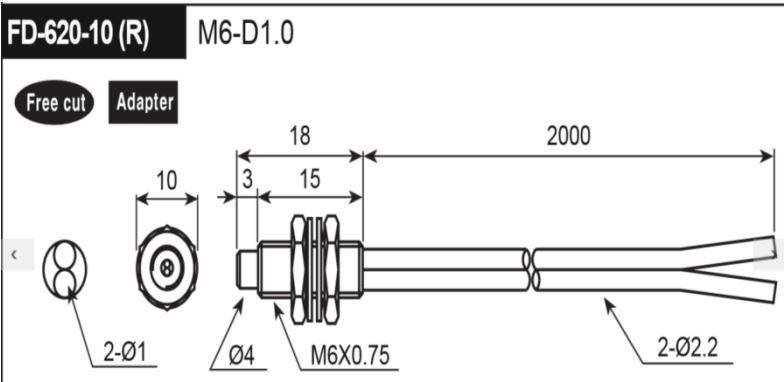
## ■ Specifications

Display type		Dual Display type			Single Display type
Model	NPN open collector output	BF5R-D1-N	BF5G-D1-N	BF5B-D1-N	BF5R-S1-N
	PNP open collector output	BF5R-D1-P	BF5G-D1-P	BF5B-D1-P	BF5R-S1-P
Light source		Red LED (660nm, modulated)	Green LED (530nm, modulated)	Blue LED (470nm, modulated)	Red LED (660nm, modulated)
Power supply		12-24VDC±10%			
Current consumption		Max. 50mA			
Operation mode		Light ON / Dark ON Selectable			
Control output		NPN or PNP open collector ●Load voltage: Max. 24VDC ●Load current: Max. 100mA ●Residual voltage - NPN:Max. 1V, PNP:Max. 3V			
Protection circuit		Reverse polarity protection, overcurrent protection, surge absorption			
Response time		Ultra Fast : 50 $\mu$ s(only for dual display type), Fast : 150 $\mu$ s,STD : 500 $\mu$ s, Long : 4ms			
Display method		●Incident light level: Red, 4digit, 7Segment ●SV : Green, 4digit, 7Segment ●Main output indicator : Red LED			●Incident light level / SV : Red, 4digit, 7Segment ●Main output indicator : Red LED
Display function		Incident light level / SV display [4,000/10,000 resolution], Percentage display, High/Low peak value display, Normal / Reversed display (only for dual display type)			
Sensitivity setting		Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (Auto tuning, 1 point, 2 point teaching, positioning teaching)			Manual sensitivity setting, teaching sensitivity setting (auto tuning)
Mutual interference prevention		Max. 8 unit sets (Automatically set regardless of response time)			
Initializing		Initializing to factory mode			---
Energy saving		Normal / Energy saving 1 / Energy saving 2			---
Timer		OFF, OFF Delay, ON Delay, One-shot			OFF, 10ms OFF Delay timer, 40ms OFF Delay timer
Insulation resistance		Min. 20M $\Omega$ (at 500VDC megger)			
Dielectric strength		1,000VAC 50/60Hz for 1 min.			
Vibration		1.5mm amplitude or 300m/s <sup>2</sup> at frequency of 10 to 55Hz(for 1 min.) in each X, Y, Z directions for 2 hours			
Shock		500m/s <sup>2</sup> (approx. 50G) in each X, Y, Z directions for 3 times			
Environment	Ambient illumination	Incandescent lamp : Max. 3000lx Sunlight : Max. 11000lx (received illumination)			
	Ambient temperature	-10 to 50°C, storage: -20 to 70°C			
	Ambient humidity	35 to 85%RH, storage: 35 to 85%RH			
Protection		IP40(IEC standards)			
Material		Case : PBT, Cover : PC			
Fiber cable					
Tightening torque		Min. 2kgf			
Accessory		Connector type wire(Ø4, 3-wire, length: 2m) (AWG22, Core diameter: 0.08mm, Number of cores: 60, Insulator out diameter: Ø1.25), Side connector			
Approval		CE			
Unit weight		Approx. 20g			

※The temperature or humidity mentioned in Environment indicates a non freezing or condensation environment.



B. Data Sheet FD-620-10



## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Achmad Maulana, biasa dipanggil dengan Maulana. Penulis memiliki riwayat pendidikan yakni bersekolah dasar di SDN Serpong V, selanjutnya dilanjutkan pendidikan pada sekolah menengah pertama di SMPN 2 Cisauk. Setelah 3 tahun menempuh sekolah menengah pertama, dilanjutkan di sekolah menengah atas SMAN 7 Tangerang Selatan.

Selanjutnya penulis memutuskan untuk melanjutkan untuk menuju pada pendidikan di perguruan tinggi. Penulis memiliki mimpi untuk berkuliah di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Dan alhamdulillah penulis dapat melanjutkan pendidikan tinggi di kampus ITS Surabaya. Dan pada pertengahan tahun ketiga sampai tahun ke lima, penulis mulai menentukan dan menyelesaikan tugas akhir sebagai syarat kelulusan di kampus ITS. Dan alhamdulillah laporan tugas akhir dapat terselasaikan dengan baik. Jika penulis ada salah kata dalam pengerjaan laporan mohon dimaafkan, dan jika ada Kritik dan saran dapat dikirim melalui email: [maulana.emails@gmail.com](mailto:maulana.emails@gmail.com)

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*